

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – FEAGRI

ESTUDO DO ENSAIO *SPT-T* E SUA APLICAÇÃO NA
PRÁTICA DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES

ANNA SILVIA PALCHECO PEIXOTO

Orientador:
Prof. Dr. David de Carvalho

CAMPINAS
Estado de São Paulo
Brasil
Junho – 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – FEAGRI

ESTUDO DO ENSAIO SPT–T E SUA APLICAÇÃO NA
PRÁTICA DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES

ANNA SILVIA PALCHECO PEIXOTO

Orientador:

Prof. Dr. David de Carvalho

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
Agrícola da Universidade Estadual de Cam-
pinas para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Agrícola.

CAMPINAS
Estado de São Paulo
Brasil
Junho – 2001

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

P359e Peixoto, Anna Silvia Pacheco
Estudo do ensaio SPT-T e sua aplicação na prática de
engenharia de fundações / Anna Silvia Palcheco Peixoto.
--Campinas, SP: [s.n.], 2001.

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

1. Fundações (Engenharia). 2. Geotecnia. 3. Prospeção.
I. Carvalho, David de . II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

*Tese defendida e aprovada em 28 de junho de 2001-07-27
pela Comissão Julgadora:*

Prof. Doutor David de Carvalho (Orientador)

(Universidade Estadual de Campinas – SP)

Prof. Doutor Antonio Belincanta

(Universidade Estadual de Maringá – PR)

Prof. Doutor Claudio Michael Wolle

(Universidade de São Paulo – SP)

Prof. Doutor Heraldo Luiz Giacheti

(Universidade Estadual Paulista – Bauru – SP)

Prof. Doutor Renato Pinto Cunha

(Universidade de Brasília – DF)

Prof. Doutor Stelvio M. T. Ranzini

(Universidade de São Paulo – SP)

A felicidade é a conquista do sucesso interior.
Sentir-se realizado, feliz, amado e próspero é uma ambição natural de todos nós.
Todavia, só conseguiremos chegar ao topo, se tivermos o otimismo audacioso de
confiar nos poderes do invisível.
Sob a proteção do amor do Universo, seguiremos para frente sem medo de viver.

Zibia Gasparetto

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pelos suportes financeiros que tornaram possível a execução dessa pesquisa; Em segundo lugar, à Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, que me acolheu com tanta consideração e profissionalismo;

E principalmente ao Prof. Dr. David de Carvalho pela orientação, incentivo, confiança e sobretudo pela grande amizade.

Ao Prof. Dr. Stelvio M. T. Ranzini, idealizador da medida do torque no SPT e grande incentivador dessa pesquisa.

Aos professores e técnicos de todos os Campos Experimentais, nos quais realizei meus ensaios.

Em especial, ao Prof. Dr. Heraldo Luiz Giacheti, pelas discussões e grande atenção dispensada à minha pessoa na fase final do trabalho.

Aos Eng^{os} Luciano Decourt e Urbano Rodrigues Alonso, pela prestimosa ajuda no início da pesquisa.

Aos funcionários da Sondosolo Geotecnia e Engenharia Ltda, pela generosa ajuda e paciência durante a realização dos ensaios.

Às empresas executores de sondagem, Engesolos Engenharia de Solos e Fundações Ltda e Sondasa Engenharia Geotecnia e Fundações Ltda, pelo fornecimento de dados que permitiram enriquecer esse trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Belincanta, pela grande ajuda que me proporcionou ao medir a energia de cravação de meu equipamento de sondagem.

À técnica do Laboratório de Materiais da Feagri, Gisleiva Cristina S. Ferreira, minha eterna amiga que tanto me ajudou na execução dos ensaios. Às colegas de Pós-Graduação Martha Del Carmen Mesa Valenciano e Wilza Gomes Reis Lopes e ao meu grande amigo Paulo José Rocha de Albuquerque.

*Aos meus pais, Anna Rosa e Percy,
aos meus irmãos, Anna Cristina e Theodoro,
ao meu querido sobrinho, Felipe,
por todo amor que sempre me deram tão incondicionalmente.*

E por fim, ao meu marido, Renato, pelo seu amor, paciência e companheirismo.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	IX
SUMÁRIO	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XVII
LISTA DE QUADROS.....	XXV
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XXXIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXXV
RESUMO.....	XXXIX
ABSTRACT.....	XLI
1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA	7
2.1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.2 - COLETA E ANÁLISE DE DADOS JÁ EXISTENTES	8
2.3 - CONSTRUÇÃO DE TORQUÍMETRO ELÉTRICO COM SISTEMA DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS	8
2.4 - REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	9
2.4.1 - Definição dos locais para a realização dos ensaios	10
2.4.2 - Realização dos ensaios	10
2.5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS	11
2.5.1 - Obtenção das curvas torque <i>versus</i> ângulo-de-rotação	11
2.5.3 - Comparação entre os resultados obtidos eletronicamente e aqueles obtidos através do torquímetro analógico.....	13
2.5.4 - Definição do torque residual	14
2.5.5 - Comparação entre os torques máximo e residual.....	14
2.5.6 - Leitura da Energia de Cravação.....	14
2.5.7 - Estudo da influência do tempo de cravação do amostrador no valor do torque	15
2.5.8 - Estudo da influência da velocidade-de-rotação no valor do torque.....	15
2.5.9 - Relação T/N	16
2.5.10 - Comparação entre os atritos laterais do Cone Elétrico e do SPT-T.....	16
2.6 - CÁLCULO DE CAPACIDADE-DE-CARGA DE ESTACAS UTILIZANDO O SPT-T	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 - HISTÓRICO DO ENSAIO SPT E SPT-T.....	21
3.2 – CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS E RESULTADOS DO ENSAIO SPT-T.....	28
3.3 – UTILIZAÇÃO DO SPT E DO SPT-T PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS	39
3.3.1 - Método Ranzini (2000).....	40

3.3.2 - Método Decourt e Quaresma (1978) e revisto em Decourt in Hachich et al (1996)	47
3.3.3 - Alonso (1996a e 1996b)	48
3.3.4 - Carvalho et al (1998).....	48
3.3.5 - Corrêa e Rocha (1998).....	49
3.3.6 - Ferreira et al (1998).....	50
3.3.7 - Carvalho et al (1999)	51
3.4 – CONCLUSÕES GERAIS	52
4. TORQUÍMETRO ELÉTRICO, MEDIDA DO ÂNGULO-DE-ROTAÇÃO E EXECUÇÃO DOS ENSAIOS SPT-T.....	53
4.1 - TORQUÍMETRO ELÉTRICO	53
4.1.1 - Sistema de Aquisição de dados	55
4.1.2 - Calibração do Torquímetro Elétrico.....	56
4.2 - SISTEMA DE LEITURA DO ÂNGULO-DE-ROTAÇÃO.....	57
5. CAMPOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS DE SPT-T.....	65
5.1 - CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – UNICAMP – CAMPINAS (SP)	65
5.1.1 - Caracterização Geológica	66
5.1.2 - Caracterização Geotécnica.....	66
5.1.3 - Resultados dos Ensaio SPT-T.....	71
5.1.4 - Resultados dos Ensaio de Penetração de Cone.....	83
5.2 - CAMPO EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (MG)	86
5.2.1 - Caracterização Geológica	86
5.2.2 - Caracterização Geotécnica.....	87
5.2.3 - Resultados dos Ensaio SPT-T.....	91
5.3 - CAMPO EXPERIMENTAL DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – USP (SP)	98
5.3.1 - Caracterização Geológica	98
5.3.2 - Caracterização Geotécnica.....	99
5.3.3 - Resultados dos Ensaio SPT-T.....	103
5.3.4 - Resultados dos Ensaio CPT.....	114
5.4 - CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA – UNESP BAURU (SP)	116
5.4.1 - Caracterização Geológica	116
5.4.2 - Caracterização Geotécnica.....	117
5.4.3 - Resultados dos Ensaio SPT-T.....	120
5.4.4 - Resultados dos Ensaio CPT.....	130
5.5 - CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP (SP).....	132
5.5.1 - Caracterização Geológica	132
5.5.2 - Caracterização Geotécnica.....	133
5.5.3 - Resultados dos Ensaio SPT-T.....	136
5.5.4 - Resultados dos Ensaio CPT.....	145
5.6 - CAMPO EXPERIMENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA – USP –SÃO PAULO (SP)	146

5.6.1 - Caracterização Geológica	146
5.6.2 - Caracterização Geotécnica.....	147
5.6.3 - Resultados dos Ensaios SPT-T.....	153
5.6.4 - Resultados dos Ensaios CPT.....	160
5.7 - BAIXADA SANTISTA – VICENTE DE CARVALHO - GUARUJÁ (SP)	161
5.7.1 - Caracterização Geológica	162
5.7.2 - Caracterização Geotécnica.....	163
5.7.3 - Resultados dos Ensaios SPT-T.....	165
5.7.4 - Resultados dos Ensaios de Palheta.....	168
6. ANÁLISE DAS CURVAS TORQUE VERSUS ÂNGULO-DE-ROTAÇÃO	169
6.1 - CURVAS TORQUE VERSUS ÂNGULO-DE-ROTAÇÃO.....	170
6.1.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp - Campinas (SP)	170
6.1.2 - Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)	173
6.1.3 - Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos - USP (SP)	175
6.1.4 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru - Unesp - (SP)	178
6.1.5 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp - (SP).....	180
6.1.6 - Campo Experimental da Escola Politécnica - USP -São Paulo	183
6.1.7 - Baixada Santista - Vicente de Carvalho - Guarujá (SP).....	184
6.1.8 – Comentários gerais sobre a forma das curvas	185
6.2 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBTIDOS ELETRONICAMENTE E OS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO TORQUÍMETRO ANALÓGICO	186
6.2.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp - Campinas (SP)	188
6.2.2 - Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)	191
6.2.3 - Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos - USP (SP)	194
6.2.4 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru - Unesp - (SP)	196
6.2.5 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp - (SP).....	199
6.2.6 - Campo Experimental da Escola Politécnica - USP -São Paulo	201
6.2.7 - Baixada Santista - Vicente de Carvalho - Guarujá (SP).....	204
6.2.8 - Análise geral da comparação entre os torques obtidos através de equipamento analógico e elétrico.....	207
6.3 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TORQUES MÁXIMO E RESIDUAL	208
6.3.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp - Campinas (SP)	208
6.3.2 - Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)	214
6.3.3 - Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos - USP (SP)	216
6.3.4 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru - Unesp - (SP)	220
6.3.5 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp - (SP).....	223
6.3.6 - Campo Experimental da Escola Politécnica - USP -São Paulo	228
6.3.7 - Baixada Santista - Vicente de Carvalho - Guarujá (SP).....	230
6.3.8 - Análise geral da relação entre os torques máximos e residuais	232
6.4 - ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CRAVAÇÃO DO AMOSTRADOR NO VALOR DO TORQUE	233
6.4.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas (SP)	234

6.4.2 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru - Unesp - (SP)	236
6.4.3 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp - (SP)	237
6.4.5 - Baixada Santista - Vicente de Carvalho - Guarujá (SP)	240
6.4.6 – Análises gerais sobre os efeitos do tempo de cravação	241
6.5 - ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE-DE-ROTAÇÃO NO VALOR DO TORQUE	242
6.5.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas (SP)	242
6.6 - ESTUDO DA OBTENÇÃO DO TORQUE RESIDUAL	243
6.7 - ESTUDO DA OBTENÇÃO DO TORQUE MÁXIMO	247
7. RELAÇÃO T/N	251
7.1 - ANÁLISES DOS DADOS COLETADOS JUNTO ÀS EMPRESAS E CAMPOS EXPERIMENTAIS	252
7.1.1 - Sedimentos Marinhos	256
7.1.2 - Solos Colapsíveis	258
7.1.3 - Solos Residuais	263
7.2 - ANÁLISES DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NESTA PESQUISA	269
7.2.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp – Campinas (SP)	269
7.2.2 - Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)	272
7.2.3 - Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos - USP - (SP)	273
7.2.4 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia - Unesp - Bauru (SP)	275
7.2.5 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp (SP)	277
7.2.6 - Campo Experimental da Escola Politécnica - USP - São Paulo (SP)	278
7.2.7 - Baixada Santista - Vicente de Carvalho - Guarujá (SP)	279
7.3 - ANÁLISES GERAIS DA RELAÇÃO T/N	280
7.3.1 – Análise Geral para Sedimentos Marinhos	282
7.3.2 – Análise Geral para Solos Colapsíveis	282
7.3.3 – Análise Geral para Solos Residuais	284
7.4 – CONCLUSÕES GERAIS	284
8. COMPARAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO SPT-T E DO CPT ..	287
8.1 - ATRITO LATERAL DO SPT-T, f_T , VERSUS ATRITO LATERAL DO CONE ELÉTRICO, f_s	288
8.1.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas (SP)	289
8.1.2 - Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos - USP (SP)	292
8.1.3 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia - Unesp - Bauru (SP)	294
8.1.4 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp – Ilha Solteira (SP) ...	295
8.1.5 - Campo Experimental da Escola Politécnica – USP – São Paulo	297
8.1.6 - Análises gerais da comparação entre f_s e f_T	299
8.2 - ÍNDICE DE RESISTÊNCIA ,N, VERSUS RESISTÊNCIA DE PONTA, q_c	300
8.2.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp - Campinas (SP)	300
8.2.2 - Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos - USP (SP)	303
8.2.3 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia - Unesp - Bauru (SP)	304
8.2.4 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp – Ilha Solteira (SP) ...	306
8.2.5 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP - São Paulo (SP)	307
8.2.6 - Análises gerais da comparação entre q_c e N	308

8.3 - RELAÇÃO T/N , <i>VERSUS</i> RAZÃO DE ATRITO, FR	309
9. PREVISÃO DA CAPACIDADE-DE-CARGA DAS ESTACAS ATRAVÉS DOS MÉTODOS EXISTENTES UTILIZANDO-SE SPT-T	313
9.1 - EMPREGO DE METODOLOGIAS PARA A PREVISÃO DA CAPACIDADE-DE-CARGA DE ESTACAS UTILIZANDO-SE OS RESULTADOS DO ENSAIO SPT-T	314
9.1.1 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp – Campinas (SP).....	321
9.1.2 - Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)	327
9.1.3 - Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos - USP - (SP).....	330
9.1.4 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia - Unesp - Bauru (SP).....	336
9.1.5 - Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp (SP)	339
9.1.6 - Campo Experimental da Escola Politécnica - USP - São Paulo (SP)	344
9.1.7 – Análises Gerais do Emprego de Metodologias para a Previsão da Capacidade-de-carga de Estacas	351
10. NOVAS PROPOSTAS PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE-DE-CARGA DE ESTACAS ATRAVÉS DO SPT-T	361
10.1 – ESTUDO DA METODOLOGIA PROPOSTA POR RANZINI (2000).....	361
10.2 – SUGESTÃO DE UMA METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS COM BASE NO SPT-T.....	370
10.3 – ANÁLISES GERAIS DAS METODOLOGIAS SUGERIDAS	380
11. SUGESTÃO DE PADRONIZAÇÃO DO ENSAIO SPT-T	381
11.1 - OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO.....	382
11.2 – DEFINIÇÕES E SIGLAS	383
11.2.1 - Definições	383
11.2.2 - Siglas.....	384
11.2.3 – Definições e Siglas Complementares	385
11.3 – EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E FERRAMENTAS	386
11.4 – EQUIPES DE CAMPO.....	390
11.5 – INDICADORES DE PRODUTIVIDADE	391
11.6 – EXECUÇÃO DO ENSAIO.....	392
11.7 – APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO	394
12. CONCLUSÕES	395
ANEXO A - ENSAIO SPT - FATORES INTERVENIENTES	401
A.1 - VARIAÇÕES DA ENERGIA DINÂMICA E DA ENERGIA DE PENETRAÇÃO TRANSMITIDA À PONTA DO AMOSTRADOR	403
A.1.1 - Martelo	407
A.1.2 - Cabeça-de-bater	410
A.1.3 - Comprimento e Tipo de Material das Hastes	411
A.2 - AMOSTRADOR VELHO	415
A.3 - UTILIZAÇÃO DE TUBOS PLÁSTICOS DENTRO DO AMOSTRADOR.....	415
A.4 - PERFURAÇÃO COM O PRÓPRIO AMOSTRADOR	416
A.5 - DIÂMETRO E LIMPEZA DO FURO.....	418
A.6 - UTILIZAÇÃO DE BOMBA DE ALTA CAPACIDADE	418

A.7 - LAMA DE ESTABILIZAÇÃO <i>VERSUS</i> TUBO DE REVESTIMENTO	419
A.8 - TIPO E CONDIÇÃO DO SOLO	419
A.9 - RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM AREIAS PURAS	420
A.10 - RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM SOLOS COESIVOS	421
A.11 - FATORES HUMANOS	422
A.12 - COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO MANUAL E MECÂNICA DE EXECUÇÃO DA SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO	422
A.13 - COMENTÁRIOS	425
ANEXO B - VALORES DE ATRITOS LATERAIS, f_t, ATRAVÉS DE RANZINI (1994).....	429
ANEXO C – COEFICIENTES-DE-VARIAÇÃO PARA OS PARÂMETROS OBTIDOS NOS ENSAIOS <i>SPT-T</i> E <i>CPT</i>	441
C.1 - CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA UNICAMP - CAMPINAS (SP)	442
C.2 - CAMPO EXPERIMENTAL DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – USP (SP) ..	444
C.3 - CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA - UNESP BAURU (SP)	445
C.4 - CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP – ILHA SOLTEIRA (SP).....	446
C.5 - CAMPO EXPERIMENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA – USP SÃO PAULO (SP).....	447
C.6 - COMENTÁRIOS.....	448
ANEXO D – COMPARAÇÃO ENTRE A PARCELA DE ATRITO LATERAL OBTIDA ATRAVÉS DE $f_{t\text{máx}}$ E $f_{t\text{res}}$.....	449
D.1 – CAPACIDADE-DE-CARGA COM O CÁLCULO DA PARCELA DE ATRITO LATERAL EM FUNÇÃO DE $T_{E\text{res}}$	450
D.2 – CAPACIDADE-DE-CARGA COM O CÁLCULO DA PARCELA DE ATRITO LATERAL EM FUNÇÃO DE $T_{E\text{máx}}$	453
BIBLIOGRAFIA.....	457

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Curva torque <i>versus</i> ângulo-de-rotação.....	12
FIGURA 2 - Banco de Dados do <i>Microsoft Access</i> para Politécnica - USP	12
FIGURA 3 - Formulário do Banco de Dados	13
FIGURA 4 - Torquímetro (Alonso, 1994)	19
FIGURA 5 - Esquema do ensaio <i>SPT-T apud</i> Lutenege e Kelley (1998)	25
FIGURA 6 - Esquema de carregamento (compressão e tração) com atrito lateral e ponta agindo no amostrador <i>apud</i> Lutenege e Kelley (1998).....	25
FIGURA 7 - Atrito lateral obtido através do <i>SPT-T</i> , do ensaio de tração e do ensaio de compressão no amostrador <i>apud</i> Lutenege e Kelley (1998).....	26
FIGURA 8 - Índice de Vazios (<i>e</i>), Índice de Colapsibilidade (<i>C.I.</i>) e <i>T/N apud</i> DECOURT (1992) .	32
FIGURA 9 - Ensaio de Campo <i>apud</i> Kulhawy (2000).....	36
FIGURA 10 - Relação entre a sucção e os resultados do <i>SPT-T</i> para o solo do Campo Experimental da Universidade de Brasília <i>apud</i> Carvalho <i>et al</i> (2000).....	37
FIGURA 11 - Relação entre <i>pF/e</i> e os resultados do <i>SPT-T apud</i> Carvalho <i>et al</i> (2001).....	38
FIGURA 12 - Comportamento geral carga-recalque da base de estacas de diferentes tipos - Van Weele (1982) <i>apud</i> Ranzini (2000)	45
FIGURA 13 - Determinação do parâmetro <i>K apud</i> Ranzini (2000)	47
FIGURA 14 - Torquímetro elétrico com capacidade máxima de 20 kgf.m	54
FIGURA 15 - Torquímetro elétrico com capacidade máxima de 50 kgf.m	54
FIGURA 16 - Sistema de proteção dos torquímetros	55
FIGURA 17 - Sistema de Aquisição de Dados	56
FIGURA 18 - Equipamento de Calibração	56
FIGURA 19 - Curvas de calibração para o torquímetro com capacidade máxima de 20kgf.m.....	57
FIGURA 20 - Sistema de travamento do potenciômetro	58
FIGURA 21 - Sistema de calibração do potenciômetro	59
FIGURA 22 - Curvas de calibração de um potenciômetro.....	59
FIGURA 23 - Disco-centralizador utilizado no sistema de lavagem	60
FIGURA 24 - Sistema do ensaio com torquímetro elétrico e medidor de ângulo.....	61
FIGURA 25 - Cabeça-de-bater modificada	62
FIGURA 26 - Curva torque (kgf.m) <i>versus</i> ângulo-de-rotação (graus) do Campo Experimental da UFLA.....	64
FIGURA 27 - Locação dos furos de sondagem da UNICAMP	73
FIGURA 28 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da Feagri – Unicamp	74
FIGURA 29 - Valores médios, máximos e mínimos de <i>N</i> - Feagri - Unicamp.....	76
FIGURA 30 - Valores médios, máximos e mínimos de <i>TE_{máx}</i> e <i>TE_{res}</i> obtidos através do torquímetro elétrico - Feagri - Unicamp.....	78

FIGURA 31 - Valores médios, máximos e mínimos de $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico - Feagri - Unicamp.....	80
FIGURA 32 - Valores médios, máximos e mínimos dos teores-de-umidade -Feagri - Unicamp	82
FIGURA 33 - Locação dos Ensaios CPT da Feagri – Unicamp.....	83
FIGURA 34 - Ponteira Cone-atrito elétrica, utilizada nos ensaios <i>CPT</i>	84
FIGURA 35 - Penetrômetro utilizado para cravação da ponteira nos ensaios de <i>CPT</i>	84
FIGURA 36 - Resultados de Ensaios <i>CPT</i> da Feagri - Unicamp.....	85
FIGURA 37 - Locação dos furos de sondagem da UFLA.....	92
FIGURA 38 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da UFLA	93
FIGURA 39 - Valores de N – UFLA.....	94
FIGURA 40 - $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico – UFLA.....	95
FIGURA 41 - $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – UFLA.....	96
FIGURA 42 - Valores dos teores-de-umidade – UFLA.....	97
FIGURA 43 - Curvas de compressão confinada <i>apud</i> Machado (1998)	102
FIGURA 44 - Locação dos furos de sondagem da EESC – USP	104
FIGURA 45 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da EESC - USP	105
FIGURA 46 - Valores médios, máximos e mínimos de N – EESC - USP	107
FIGURA 47 - Valores médios, máximos e mínimos de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico – <i>EESC</i> - USP	109
FIGURA 48 - Valores médios, máximos e mínimos de $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – EESC - USP	111
FIGURA 49 - Valores médios, máximos e mínimos dos teores-de-umidade EESC - USP	113
FIGURA 50 - Locação dos Ensaios CPT – <i>EESC</i> – USP	114
FIGURA 51 - Resultados de Ensaios CPT – EESC – USP	115
FIGURA 52 - Locação dos furos de sondagem – Unesp - Bauru	121
FIGURA 53 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da Unesp – Bauru	122
FIGURA 54 - Índices de resistência N – Unesp - Bauru	124
FIGURA 55 - $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico – Unesp - Bauru	126
FIGURA 56 - $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – Unesp - Bauru	128
FIGURA 57 - Teores-de-umidade – Unesp – Bauru	129
FIGURA 58 - Locação dos ensaios <i>CPT</i> – Unesp - Bauru	130
FIGURA 59 - Resultados de ensaios <i>CPT</i> – Unesp - Bauru.....	131
FIGURA 60 - Locação dos furos de sondagem – Unesp – Ilha Solteira.....	137
FIGURA 61 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da Unesp – Ilha Solteira	138
FIGURA 62 - Valores médios, máximos e mínimos de N – Unesp – Ilha Solteira	139
FIGURA 63 - Valores médios, máximos e mínimos de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico – Unesp – Ilha Solteira	141
FIGURA 64 - Valores médios, máximos e mínimos de $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – Unesp – Ilha Solteira	143

FIGURA 65 - Valores médios, máximos e mínimos dos teores-de-umidade - Unesp – Ilha Solteira ..	144
FIGURA 66 - Resultados de ensaios <i>CPT</i> - Unesp – Ilha Solteira	146
FIGURA 67 - Resultados do ensaios de Caracterização para o <i>PIT I</i> – Politécnica – USP	148
FIGURA 68 - Resultados do ensaios de Caracterização para o <i>PIT III</i> – Politécnica - USP	148
FIGURA 69 - Resultados dos ensaios triaxiais rápido - <i>PIT II</i> – Politécnica - USP	150
FIGURA 70 - Resultados dos ensaios triaxiais lento - <i>PIT II</i> – Politécnica – USP	150
FIGURA 71 - Resultados dos ensaios triaxiais - <i>PIT III</i> , Prof. 8,80m – Politécnica – USP	151
FIGURA 72 - Resultados dos ensaios triaxiais rápido - Caolinita e Migmatito – Politécnica - USP ..	151
FIGURA 73 - Resultados dos ensaios triaxiais lento - caolinita e migmatito – Politécnica – USP	151
FIGURA 74 - Locação dos furos de sondagem – Politécnica - USP	154
FIGURA 75 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental – Politécnica - USP	155
FIGURA 76 - Valores médios, máximos e mínimos de <i>N</i> – Politécnica – USP	156
FIGURA 77 - Valores médios, máximos e mínimos de <i>TE_{máx}</i> e <i>TE_{res}</i> obtidos através do torquímetro elétrico – Politécnica – USP	157
FIGURA 78 - Valores médios, máximos e mínimos de <i>T_{máx}</i> e <i>T_{res}</i> obtidos através do torquímetro analógico – Politécnica – USP	158
FIGURA 79 - Valores médios, máximos e mínimos dos teores-de-umidade Politécnica - USP ...	159
FIGURA 80 - Resultados de Ensaios <i>CPT</i> - Escola Politécnica	161
FIGURA 81 - Perfil da sondagem - Baixada Santista	166
FIGURA 82 - Resultados <i>SPT-T</i> - Baixada Santista	167
FIGURA 83 - Curvas típicas para a camada de argila arenosa, porosa Unicamp	171
FIGURA 84 - Curva típica para a camada de argila arenosa, pouco siltosa (solo residual) – Unicamp	171
FIGURA 85 - Curva típica para a camada silte arenoso (solo residual) - acima do nível d’água - Unicamp	172
FIGURA 86 - Curva típica para a camada silte arenoso (solo residual) - abaixo do nível d’água – Unicamp	172
FIGURA 87 - Curva típica para a camada silte argiloso - UFLA	173
FIGURA 88 - Curva típica para a camada silte muito arenoso (solo residual) UFLA	174
FIGURA 89 - Curva típica para a camada silte argiloso (solo saprolítico) - UFLA	174
FIGURA 90 - Curva típica 1 para a camada areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa - EESC - USP	175
FIGURA 91 - Curva típica 2 para a camada areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa - EESC - USP	176
FIGURA 92 - Curva típica para a camada areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa na linha-de-seixos - EESC – USP	176
FIGURA 93 - Curva típica 1 para a camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos - EESC – USP	177
FIGURA 94 - Curva típica 2 para a camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos - EESC – USP	177

FIGURA 95 - Curvas do SP2 para a camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos - EESC - USP	178
FIGURA 96 - Curva típica 1 para a camada areia fina e média, argilosa - Unesp - Bauru	179
FIGURA 97 - Curva típica 2 para a camada areia fina e média, argilosa - Unesp - Bauru	179
FIGURA 98 - Curva típica para a camada de argila muito siltosa, pouco arenosa - Unesp - Bauru ..	180
FIGURA 99 - Curvas observadas na camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, até 5,0m de profundidade - Unesp - Ilha Solteira.....	181
FIGURA 100 - Curva típica para a camada de areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, entre 5,0 e 7,0m - Unesp - Ilha Solteira	181
FIGURA 101 - Curva típica para a camada de areia fina e média, argilosa, pouco siltosa - Unesp - Ilha Solteira	182
FIGURA 102 - Curva do ensaio SP1 realizado a 12,0m na camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa - Unesp - Ilha Solteira	182
FIGURA 103 - Curva típica para a camada silte muito arenoso, com pouca mica (solo residual) - USP - São Paulo.....	183
FIGURA 104 - Curva típica para a camada silte muito arenoso, pouco argiloso, pouca mica (solo residual) - USP - São Paulo.....	184
FIGURA 105 - Curva típica para a camada argila orgânica, marinha, siltosa - Baixada Santista (SP)	185
FIGURA 106 - Nomenclaturas dos torques obtidos através da curva	187
FIGURA 107 - Torques máximos – Unicamp.....	188
FIGURA 108 - Torques residuais - Unicamp.....	189
FIGURA 109 - Torques máximos – UFLA.....	192
FIGURA 110 - Torques residuais – UFLA.....	192
FIGURA 111 - Torques máximos - EESC - USP	194
FIGURA 112 - Torques residuais - EESC – USP.....	194
FIGURA 113 - Torques máximos - Unesp - Bauru	197
FIGURA 114 - Torques residuais - Unesp – Bauru.....	197
FIGURA 115 - Torques máximos - Unesp - Ilha Solteira	199
FIGURA 116 - Torques residuais - Unesp - Ilha Solteira	199
FIGURA 117 - Torques máximos - Politécnica – USP.....	202
FIGURA 118 - Torques residuais - Politécnica – USP	202
FIGURA 119 - Torques máximos - Baixada Santista.....	204
FIGURA 120 - Torques residuais - Baixada Santista.....	205
FIGURA 121 - Relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para argila arenosa, porosa Unicamp.....	211
FIGURA 122 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para argila arenosa, porosa – Unicamp.....	212
FIGURA 123 - Relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para solos argilosos - Unicamp.....	212
FIGURA 124 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para solos argilosos – Unicamp.....	212
FIGURA 125 - Relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para solos siltosos – Unicamp	213
FIGURA 126 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para solos siltosos – Unicamp	213
FIGURA 127 - Relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para sedimento cenozóico EESC – USP	219
FIGURA 128 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para sedimento cenozóico - EESC – USP	219
FIGURA 129 - Relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para solo residual - EESC - USP	219

FIGURA 130 - Relação $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ para solo residual - EESC – USP	219
FIGURA 131 - Relação $TE_{m\acute{a}x}/TE_{res}$ para areia fina média argilosa, porosa - Unesp - Bauru..	222
FIGURA 132 - Relação $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ para areia fina média argilosa, porosa Unesp - Bauru.....	222
FIGURA 133 - Curva torque <i>versus</i> ângulo-de-rotação para a camada arenosa - abaixo de 13 metros - Unesp - Bauru	222
FIGURA 134 - Curva torque <i>versus</i> ângulo-de-rotação para a camada argilosa - Unesp - Bauru	223
FIGURA 135 - Curva não estabilizada torque <i>versus</i> ângulo-de-rotação	225
FIGURA 136 - Curva não estabilizada torque <i>versus</i> ângulo-de-rotação	226
FIGURA 137 - Relação $TE_{m\acute{a}x}/TE_{res}$ para areia fina média argilosa - Unesp - Ilha Solteira	226
FIGURA 138 - Relação $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ para areia fina média argilosa - Unesp - Ilha Solteira	226
FIGURA 139 - Relação $TE_{m\acute{a}x}/TE_{res}$ para areia fina média argilosa, solo colapsível - Unesp - Ilha Solteira.....	227
FIGURA 140 - Relação $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ para areia fina média argilosa , solo colapsível - Unesp - Ilha Solteira	227
FIGURA 141 - Relação $TE_{m\acute{a}x}/TE_{res}$ para areia fina média argilosa, solo não-colapsível - Unesp - Ilha Solteira.....	227
FIGURA 142 - Relação $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ para areia fina média argilosa , solo não-colapsível - Unesp Ilha Solteira	227
FIGURA 143 - Relação $TE_{m\acute{a}x}/TE_{res}$ para solo siltoso, residual - Politécnica - USP	230
FIGURA 144 - Relação $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ para solo siltoso, residual - Politécnica - USP	230
FIGURA 145 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) com o Tempo (dia)	235
FIGURA 146 - Variação de TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia).....	235
FIGURA 147 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ e $TE_{res\ mínimo}$ (kgf.m) com o Tempo (dia) Unesp - Bauru	236
FIGURA 148 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia) Unesp - Ilha Solteira.....	237
FIGURA 149 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia) USP – Politécnica	238
FIGURA 150 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia) USP - Politécnica	239
FIGURA 151 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia) - USP - Politécnica	239
FIGURA 152 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ e $TE_{res\ mínimo}$ (kgf.m) com o Tempo (dia) Baixada Santista ...	240
FIGURA 153 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} (kgf.m) com a velocidade-de-rotação (voltas/minuto) para o Furo SP05	242
FIGURA 154 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} (kgf.m) com a velocidade-de-rotação (voltas/minuto) para o Furo SP06	243
FIGURA 155 - Curva típica da camada acima da linha-de-seixos para o Campo Experimental da EESC- São Carlos (SP) - Solo Arenoso.....	244
FIGURA 156 - Curva típica da camada da linha-de-seixos para o Campo Experimental da EESC- São Carlos (SP) - Solo Arenoso.....	245
FIGURA 157 - Curva típica da camada abaixo da linha-de-seixos para o Campo Experimental da EESC- São Carlos (SP) - Solo Arenoso.....	245
FIGURA 158 - Curva típica da camada abaixo da linha-de-seixos para o Campo Experimental da UNESP - Bauru (SP) - Solo Arenoso	246
FIGURA 159 - Histograma da medida do ângulo-de-rotação correspondente ao $TE_{m\acute{a}x}$ para solos arenosos	248

FIGURA 160 - Histograma da medida do ângulo-de-rotação correspondente ao $TE_{máx}$ para solos argilosos.....	248
FIGURA 161 - Histograma da medida do ângulo-de-rotação correspondente ao $TE_{máx}$ para solos siltosos.....	248
FIGURA 162 - Histograma da medida do ângulo-de-rotação correspondente ao $TE_{máx}$ para a argila orgânica da Baixada Santista	249
FIGURA 163 - Entrada de dados através do <i>Microsoft Access</i>	253
FIGURA 164 - Relação $\frac{\bar{T}}{N}$ versus Razão de Atrito, FR - Feagri – Unicamp.....	271
FIGURA 165 - Relação $\frac{\bar{T}}{N}$ versus Razão de Atrito, FR - EESC – USP	274
FIGURA 166 - Relação $\frac{\bar{T}}{N}$ versus Razão de Atrito, FR - Unesp – Bauru	276
FIGURA 167 - Correlação entre fT e fs - argila arenosa, porosa, colapsível - Feagri - Unicamp ..	290
FIGURA 168 - Correlação entre fT e fs - silte areno-argiloso - solo residual e acima do nível d'água Feagri - Unicamp	290
FIGURA 169 - Correlação entre fT e fs - silte areno-argiloso Solo residual e abaixo do nível d'água Feagri - Unicamp	291
FIGURA 170 - fs em função de fT - Feagri – Unicamp.....	291
FIGURA 171 - Correlação entre fT e fs - areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa –EESC – USP.....	292
FIGURA 172 - Correlação entre fT e fs - areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos e do nível d'água –EESC - USP	293
FIGURA 173 - fs em função de fT - EESC – USP	293
FIGURA 174 - Correlação entre fT e fs - primeira camada de areia fina e média, argilosa - FET – Unesp - Bauru.....	294
FIGURA 175 - fs em função de fT - FET – Unesp - Bauru	295
FIGURA 176 - Correlação entre fT e fs - FEIS – Unesp – Ilha Solteira.....	296
FIGURA 177 - fs em função de fT - FEIS – Unesp – Ilha Solteira	297
FIGURA 178 - Correlação entre fT e fs - Escola Politécnica - USP	298
FIGURA 179 - fs em função de fT - Escola Politécnica – USP.....	298
FIGURA 180 - Correlação entre N e qc - Feagri – Unicamp.....	301
FIGURA 181 - Correlação entre N e qc - Feagri - argila arenosa, porosa Unicamp	301
FIGURA 182 - FIGURA 181 - Correlação entre N e qc - silte areno-argiloso - solo residual e acima do nível d'água –Feagri - Unicamp	302
FIGURA 183 - Correlação entre N e qc - silte areno-argiloso - solo residual e abaixo do nível d'água – Feagri - Unicamp	302
FIGURA 184 - Correlação entre N e qc - areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa - EESC - USP.....	303
FIGURA 185 - Correlação entre N e qc - areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos e do nível d'água –EESC - USP	304
FIGURA 186 - Correlação entre N e qc - primeira camada de areia fina e média, argilosa –FET - Unesp - Bauru.....	305

FIGURA 187 - Correlação entre N e q_c - segunda camada de areia fina e média, argilosa - FET – Unesp – Bauru.....	305
FIGURA 188 - Correlação entre N e q_c - FEIS – Unesp – Ilha Solteira	306
FIGURA 189 - Correlação entre N e q_c - Escola Politécnica - USP.....	307
FIGURA 190 - Relação $\frac{\bar{T}}{N}$ versus Razão de Atrito, FR	310
FIGURA 191 - Direção dos parâmetros obtidos no $SPT-T$	311
FIGURA 192 - Proposta da cabeça-de-bater.....	387
FIGURA 193 - Proposta de pino-adaptador para torquímetros com capacidade 10-48kgf.m (R350) e 17-83kgf.m (R600)	388
FIGURA 194 - Propostas de disco-centralizadores	389
FIGURA 195 - Fator de eficiência e_1 - função do acionamento do martelo <i>apud</i> Decourt (1989) ..	405
FIGURA 196 - Fator de eficiência e_2 - função da massa da cabeça-de-bater <i>apud</i> Decourt (1989) ..	405
FIGURA 197 - Média dos resultados do SPT em função da profundidade para o martelo automático e com corda manual <i>apud</i> Drumright <i>et al</i> (1996).....	407
FIGURA 198 - Influência da utilização de martelos de massas diferentes no valor N	410
FIGURA 199 - Cabeça-de-bater de tamanho normal, 3,6kg, grande, 14kg e pequena 1,2kg <i>apud</i> Belincanta (1998)	411
FIGURA 200 - Efeito da profundidade em função da relação massa-energia <i>apud</i> Mello (1971) ..	412
FIGURA 201 - Esquema simplificado de propagação de ondas de tensão no SPT - Palacios (1977) <i>apud</i> Belincanta (1998)	413
FIGURA 202 - Eficiência em função da profundidade das hastes <i>apud</i> Belincanta <i>et al</i> (1994) ..	414
FIGURA 203 - Influência do tipo do amostrador no valor N do SPT	416
FIGURA 204 - Resultados dos ensaios $SPT-T$ de Guimarães <i>et al</i> (2000).....	418
FIGURA 205 - Haste ASTM versus ABNT <i>apud</i> Baillot & Ribeiro Jr. (2000)	424
FIGURA 206 - Fator de correção para areias normalmente adensadas <i>apud</i> Schnaid (2000) ..	427
FIGURA 207 - Fator de correção para a história de tensões <i>apud</i> Schnaid (2000).....	428
FIGURA 208 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios CPT e $SPT-T$ – Feagri – Unicamp.....	443
FIGURA 209 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios $SPT-T$ – EESC – USP	444
FIGURA 210 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios $SPT-T$ – Unesp – Bauru (SP)	445
FIGURA 211 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios $SPT-T$ – Unesp – Ilha Solteira (SP).....	446
FIGURA 212 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios $SPT-T$ – Escola Politécnica - USP (SP)	447

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Classificação de solos baseada em T/N <i>apud</i> Decourt (1998).....	30
QUADRO 2 - T/N valores para areias finas, acima e abaixo do nível d'água <i>apud</i> Decourt e Quaresma Filho (1994).....	31
QUADRO 3 - Correlação entre fT (kgf/cm ²) e N , do $SPT-T$ <i>apud</i> Alonso (1991)	33
QUADRO 4 - Valores de 6 sondagens $SPT-T$ realizadas em Ilha Solteira com diferentes equipamentos por Menezes e Dall'Aglio Sobrinho (1994) e relações T/N	35
QUADRO 5 - Expressões de fT (kgf.m) para a sondagem SP-2 de Ilha Solteira realizada por Menezes e Dall'Aglio Sobrinho (1994).....	36
QUADRO 6 - Relação entre PP e PR considerando dados de estacas Hélice-Contínua <i>apud</i> Ranzini (2000)	46
QUADRO 7 - Valores de fT , fs e qs <i>apud</i> Ferreira <i>et al</i> (1998).....	51
QUADRO 8 - Relação entre os valores médios de fT ($SPT-T$), fc (CPT) com qs (prova-de-carga instrumentada).....	52
QUADRO 9 - Resultados do Ensaio de Caracterização para a Feagri - Unicamp.....	67
QUADRO 10 - Valores de Índices Físicos para a Feagri - Unicamp	68
QUADRO 11 - Parâmetros de Resistência para a Feagri - Unicamp.....	69
QUADRO 12 - Parâmetros de Compressibilidade para a Feagri - Unicamp.....	69
QUADRO 13 - Coeficiente Colapso Estrutural do subsolo da Feagri - Unicamp	70
QUADRO 14 - Valores N para a Feagri - Unicamp	75
QUADRO 15 - Valores $TE_{máx}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico na Feagri - Unicamp	77
QUADRO 16 - Valores $T_{máx}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico na Feagri - Unicamp ..	79
QUADRO 17 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do $SPT-T$, para a Feagri – Unicamp	81
QUADRO 18 - Resultados médios dos ensaios cPT realizados na Feagri - Unicamp	86
QUADRO 19 - Resultados do ensaios de Caracterização para a UFLA.....	89
QUADRO 20 - Valores de Índices Físicos para a UFLA.....	89
QUADRO 21 - Parâmetros de resistência para a UFLA.....	90
QUADRO 22 - Parâmetros de compressibilidade para a UFLA.....	90
QUADRO 23 - Coeficiente colapso estrutural do subsolo da UFLA.....	90
QUADRO 24 - Valores N - UFLA.....	94
QUADRO 25 - Valores $TE_{máx}$ e TE_{res} do torquímetro elétrico - UFLA	95
QUADRO 26 - Valores $T_{máx}$ e T_{res} do torquímetro analógico - UFLA	96
QUADRO 27 - Valores dos teores-de-umidade - UFLA	97
QUADRO 28 - Resultados do ensaios de Caracterização – EESC - USP.....	100
QUADRO 29 - Valores de Índices Físicos – EESC - USP.....	100
QUADRO 30 - Parâmetros de resistência – EESC - USP.....	101

QUADRO 31 - Parâmetros de compressibilidade – EESC - USP	101
QUADRO 32 - Profundidade das sondagens e fundações.....	103
QUADRO 33 - Valores N – EESC - USP	106
QUADRO 34 - Valores $TE_{máx}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico - EESC - USP...	108
QUADRO 35 - Valores $Tmáx$ e $Tres$ obtidos através do torquímetro analógico - EESC - USP....	110
QUADRO 36 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do SPT-T – EESC - USP	112
QUADRO 37 - Resultados médios dos ensaios de Cone Elétrico – EESC - USP	116
QUADRO 38 - Resultados do ensaios de Caracterização – Unesp – Bauru	118
QUADRO 39 - Valores de Índices Físicos – Unesp - Bauru	118
QUADRO 40 - Parâmetros de resistência - Bauru.....	119
QUADRO 41 - Parâmetros de compressibilidade para a Unesp – Bauru	120
QUADRO 42 - Coeficiente de colapso estrutural de Vargas para a Unesp – Bauru.....	120
QUADRO 43 - Valores N – Unesp - Bauru	123
QUADRO 44 - Valores $TE_{máx}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico Unesp - Bauru ..	125
QUADRO 45 - Valores $Tmáx$ e $Tres$ obtidos através do torquímetro analógico Unesp - Bauru ...	127
QUADRO 46 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do SPT-T – Unesp - Bauru	129
QUADRO 47 - Resultados médios dos ensaios de Cone Elétrico – Unesp - Bauru	132
QUADRO 48 - Resultados do ensaios de Caracterização – Unesp – Ilha Solteira	134
QUADRO 49 - Valores de Índices Físicos – Unesp – Ilha Solteira.....	134
QUADRO 50 - Parâmetros de resistência para a Unesp – Ilha Solteira.....	135
QUADRO 51 - Parâmetros de compressibilidade para a Unesp – Ilha Solteira	135
QUADRO 52 - Parâmetros de colapsibilidade para a Unesp – Ilha Solteira	136
QUADRO 53 - Valores N – Unesp – Ilha Solteira	139
QUADRO 54 - Valores $TE_{máx}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico Unesp – Ilha Solteira.....	140
QUADRO 55 - Valores $Tmáx$ e $Tres$ obtidos através do torquímetro analógico Unesp – Ilha Solteira	142
QUADRO 56 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do SPT-T – Unesp – Ilha Solteira	144
QUADRO 57 - Resultados médios dos ensaios de CPT – Unesp – Ilha Solteira.....	145
QUADRO 58 - Índices Físicos para o PIT I – Politécnica - USP.....	149
QUADRO 59 - Índices Físicos para o PIT III – Politécnica - USP.....	149
QUADRO 60 - Resultados dos ensaios de compressão simples - PIT I e III – Politécnica - USP	150
QUADRO 61 - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto - PIT II – Politécnica - USP.....	152
QUADRO 62 - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto em anel- PIT II – Politécnica - USP ..	152
QUADRO 63 - Parâmetros de compressibilidade - Politécnica - USP	153
QUADRO 64 - Valores N – Politécnica - USP.....	156
QUADRO 65 - Valores $TE_{máx}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico– Politécnica - USP ..	157
QUADRO 66 - Valores $Tmáx$ e $Tres$ obtidos através do torquímetro analógico – Politécnica - USP ..	158
QUADRO 67 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do SPT-T – Politécnica - USP	159

QUADRO 68 - Resultados médios dos Ensaio de <i>CPT</i> – Politécnica - USP	160
QUADRO 69 - Resultados dos ensaios de Caracterização - Baixada Santista	164
QUADRO 70 - Resultados dos ensaios de compressão simples e triaxiais Baixada Santista	164
QUADRO 71 - Resultados dos ensaios de adensamento - Baixada Santista.....	165
QUADRO 72 - Resultados dos ensaios <i>SPT-T</i> - Baixada Santista	165
QUADRO 73 - Resultados dos Ensaio de Palheta em amostra natural e amolgada - Baixada Santista.....	168
QUADRO 74 - Diferenças entre as médias em função da profundidade Unicamp	189
QUADRO 75 - Resultado das análises para dados pareados - Unicamp	190
QUADRO 76 - Diferenças entre as médias em função da profundidade - UFLA.....	193
QUADRO 77 - Resultado das análises entre os torques residuais - UFLA.....	193
QUADRO 78 - Diferenças entre as médias em função da profundidade EESC - USP.....	195
QUADRO 79 - Resultado das análises entre os torques residuais - EESC - USP	196
QUADRO 80 - Diferenças entre as médias em função da profundidade - Unesp - Bauru.....	198
QUADRO 81 - Resultado das análises entre os torques residuais - Unesp - Bauru.....	198
QUADRO 82 - Diferenças entre as médias em função da profundidade - Unesp – Ilha Solteira .	200
QUADRO 83 - Resultado das análises entre os torques residuais - Unesp - Ilha Solteira	201
QUADRO 84 - Diferenças entre as médias em função da profundidade - Escola Politécnica - USP..	203
QUADRO 85 - Resultado das análises - Politécnica - USP.....	203
QUADRO 86 - Diferenças entre as médias em função da profundidade Baixada Santista	205
QUADRO 87 - Resultado das análises entre os torques residuais - Unesp - Baixada Santista ...	206
QUADRO 88 - Comparação entre os torques máximo e residual para solos argilosos - Unicamp	209
QUADRO 89 - Comparação entre os torques máximo e residual para solos siltosos - Unicamp	210
QUADRO 90 - Comparação entre os torques máximo e residual para solos arenosos - Unicamp	211
QUADRO 91 - Comparação entre os torques máximo e residual - UFLA.....	215
QUADRO 92 - Comparação entre os torques máximo e residual - EESC-USP -argilosos - solo residual	216
QUADRO 93 - Comparação entre os torques máximo e residual - EESC-USP -arenosos - solo residual	217
QUADRO 94 - Comparação entre os torques máximo e residual - EESC-USP - sedimento cenozóico	218
QUADRO 95 - Comparação entre os torques máximo e residual - Unesp-Bauru - areia fina média, argilosa -profundidade abaixo de 13 metros	220
QUADRO 96 - Comparação entre os torques máximo e residual - Unesp-Bauru . Areia fina média, argilosa - porosa - -Profundidade até 12 metros.....	221
QUADRO 97 - Comparação entre os torques máximo e residual – Unesp - Ilha Solteira - areia fina média, argilosa	224
QUADRO 98 - Comparação entre os torques máximo e residual – Politécnica - USP.....	228
QUADRO 99 - Comparação entre os torques máximo e residual – Politécnica - USP	229
QUADRO 100 - Comparação entre os torques máximo e residual - Baixada Santista.....	231
QUADRO 101 - Análise estatística descritiva dos resultados da Baixada Santista	231
QUADRO 102 - Relações entre os torques máximos e residuais para os diferentes tipos de solo	232

QUADRO 103 - Leituras Periódicas dos Torques Realizadas nos Furos SP05 e 06.....	234
QUADRO 104 - Análises Estatísticas para a medida do ângulo-de-rotação no instante da leitura do torque máximo	248
QUADRO 105 - Resumo quantitativo dos dados por tipo de solo coletado nos acervos dos Campos Experimentais e das empresas executoras	252
QUADRO 106 - Análise das relações T/N para sedimentos marinhos.....	256
QUADRO 107 - Análise das relações T/N para sedimentos marinhos.....	257
QUADRO 108 - Análise das relações T/N para sedimentos marinhos.....	258
QUADRO 109 - Análise das relações T/N para as argilas porosas da Cidade São Paulo	259
QUADRO 110 - Análise das relações T/N para solos colapsíveis argilosos do interior do Estado de São Paulo	260
QUADRO 111 - Análise das relações T/N para solos colapsíveis do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica no Campus da UEL.....	261
QUADRO 112 - Relação geral T/N para solos colapsíveis.....	261
QUADRO 113 - Análise das relações T/N para solos colapsíveis arenosos do interior do Estado de São Paulo	262
QUADRO 114 - Análise das relações T/N para solos residuais	264
QUADRO 115 - Análise das relações T/N para solos residuais	265
QUADRO 116 - Análise das relações T/N para solos residuais	266
QUADRO 117 - Análise das relações T/N para solos residuais	267
QUADRO 118 - Análise das relações T/N para solos residuais	268
QUADRO 119 - Valores T/N para a Feagri - Unicamp	270
QUADRO 120 - Valores T/N para a UFLA.....	272
QUADRO 121 - Valores T/N para a EESC - USP.....	273
QUADRO 122 - Valores T/N para a Unesp - Bauru.....	275
QUADRO 123 - Valores T/N para a Unesp – Ilha Solteira.....	277
QUADRO 124 - Valores T/N para a Politécnica - USP	279
QUADRO 125 - Valores T/N para a Baixada Santista	280
QUADRO 126 - Resumo das relações T/N	281
QUADRO 127 - Nomenclaturas de fT para os torques obtidos elétrica e analogicamente.....	289
QUADRO 128 - Quadro resumo de $f_s/fT_{em\acute{a}x}$	299
QUADRO 129 - Quadro resumo de q_c/N	308
QUADRO 130 - Valores do coeficiente α em função do tipo de solo e estaca <i>apud</i> Decourt (1996)..	316
QUADRO 131 - Valores do coeficiente β em função do tipo de solo e estaca <i>apud</i> Decourt (1996)..	316
QUADRO 132 - Valores do coeficiente K em função do tipo de solo <i>apud</i> Decourt (1996).....	316
QUADRO 133 - Expressões para se prever a adesão de vários tipos de estaca através do atrito lateral obtido do $SPT-T$ <i>apud</i> Alonso (1996a).	317
QUADRO 134 - Correlações $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ e $T_{m\acute{a}x}/N$ para a cidade de São Paulo e arredores.....	318
QUADRO 135 - Coeficientes propostos por Rodrigues <i>et al</i> (1998) para valores F_1 e F_2 de Aoki e Veloso (1975) e α e β de Decourt e Quaresma (1978).....	320
QUADRO 136 - Coeficientes para cálculo da parcela lateral (α_T) <i>apud</i> Carvalho <i>et al</i> (1998)..	320

QUADRO 137 - Resultados das Provas-de-Carga Instrumentadas Realizadas no Campo Experimental da Feagri - Unicamp	322
QUADRO 138 - Resultados através de Decourt (1996) - Unicamp.....	324
QUADRO 139 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b) - Unicamp.....	326
QUADRO 140 - Resultados através de Carvalho <i>et al.</i> (1998) - Unicamp	327
QUADRO 141 - Resultados das Provas-de-Carga Realizadas no Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras	328
QUADRO 142 - Resultados através de Decourt (1996) - UFLA.....	329
QUADRO 143 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b) - UFLA.....	329
QUADRO 144 - Resultados através de Carvalho <i>et al.</i> (1998) - UFLA	330
QUADRO 145 - Resultados das Provas-de-Carga Realizadas no Campo Experimental da EESC - USP	332
QUADRO 146 - Resultados através de Decourt(1996) – EESC-USP.....	333
QUADRO 147 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b) – EESC-USP.....	334
QUADRO 148 - Resultados através de Carvalho <i>et al.</i> (1998) – EESC-USP	335
QUADRO 149 - Resultados das Provas-de-Carga Instrumentadas Realizadas no Campo Experimental da Unesp - Bauru	336
QUADRO 150 - Resultados através de Decourt (1996) – Unesp - Bauru.....	337
QUADRO 151 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b)– Unesp - Bauru.....	338
QUADRO 152 - Resultados das Provas-de-Carga Instrumentadas Realizadas no Campo Experimental da Unesp – Ilha-Solteira.....	340
QUADRO 153 - Resultados através de Decourt (1996) – Unesp – Ilha Solteira	341
QUADRO 154 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b)– Unesp – Ilha Solteira.....	343
QUADRO 155 - Resultados através de Carvalho <i>et al.</i> (1998) – Unesp – Ilha Solteira.....	344
QUADRO 156 - Resultados das Provas-de-Carga Realizadas no Campo Experimental da ABEF / Politécnica - USP.....	345
QUADRO 157 - Resultados de Decourt (1996) – Politécnica - USP	347
QUADRO 158 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b) – Politécnica - USP.....	349
QUADRO 159 - Resultados de Carvalho <i>et al.</i> (1998) –Politécnica - USP	351
QUADRO 160 - Resultados dos métodos para previsões de capacidade-de-carga de estacas utilizando o <i>SPT-T</i>	353
QUADRO 161 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas utilizando os ensaios <i>SPT</i> e <i>CPT</i>	354
QUADRO 162 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Pré-Moldadas.....	356
QUADRO 163 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Escavadas	357
QUADRO 164 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Hélice-Contínuas ..	358
QUADRO 165 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Broca.....	359
QUADRO 166 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Apiloadas	360
QUADRO 167 - Valores dos coeficientes empíricos s_λ e s_p estimados para Ranzini (2000)	365
QUADRO 168 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas através de Ranzini (2000) utilizando-se os coeficientes obtidos nesta pesquisa	367
QUADRO 169 - Relações $TE_{máx}/N$ e $TE_{máx}/TE_{res}$ Médias para os Seis Campos Experimentais ..	369

QUADRO 170 - Valores dos coeficientes s_{λ} e F_{λ}	373
QUADRO 171 - Valores do coeficiente C em função do tipo de solo <i>apud</i> Decourt (1996).....	374
QUADRO 172 - Valores do coeficiente α em função do tipo de solo e estaca <i>apud</i> Decourt (1996) ..	375
QUADRO 173 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas através da nova metodologia para as estacas dos Campos Experimentais analisados	376
QUADRO 174 - Aplicação da metodologia em outras estacas cujas provas-de-carga estão disponíveis na literatura.....	377
QUADRO 175 - Valores médios e coeficientes-de-variação para as previsões obtidas através da metodologia	378
QUADRO 176 - Aplicação da metodologia em estacas submetidas à tração	379
QUADRO 177 - Controle da capacidade dos torquímetros	390
QUADRO 178 - Coeficiente e_3 , que leva em consideração o comprimento da composição <i>apud</i> Decourt (1989).....	405
QUADRO 179 - Fatores que afetam o índice de resistência a penetração N	406
QUADRO 180 - Fatores de correção de valores de N medidos <i>apud</i> Decourt (1989).....	406
QUADRO 181 - Fatores de correção do índice de resistência à penetração do SPT relacionados à transferência de energia	409
QUADRO 182 - Fatores de correção em função do comprimento das hastes.....	414
QUADRO 183 - Resultados dos ensaios <i>SPT-T</i> para o Campo Experimental da Universidade de Brasília	417
QUADRO 184 - Influência das propriedades de solos granulares na resistência à penetração <i>apud</i> Schnaid (2000)	421
QUADRO 185 - Processo manual:variabilidade do <i>SPT apud</i> Baillot & Ribeiro Júnior (2000)	423
QUADRO 186 - Processo mecânico (ABNT) :variabilidade do <i>SPT apud</i> Baillot & Ribeiro Júnior (2000).....	424
QUADRO 187 - Processo mecânico (ASTM) :variabilidade do <i>SPT ... apud</i> Baillot & Ribeiro Júnior (2000).....	424
QUADRO 188 - Lista dos quadros que contém os valores de fT	429
QUADRO 189 - Valores de $fT_{Em\acute{a}x}$ e fT_{Eres} obtidos através do torquímetro elétrico - Unicamp	430
QUADRO 190 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - Unicamp.	431
QUADRO 191 - Valores de $fT_{Em\acute{a}x}$ e fT_{Eres} obtidos através do torquímetro elétrico - UFLA.....	432
QUADRO 192 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - UFLA.....	432
QUADRO 193 - Valores de $fT_{Em\acute{a}x}$ e fT_{Eres} obtidos através do torquímetro elétrico - EESC - USP	433
QUADRO 194 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - EESC - USP .	434
QUADRO 195 - Valores de $fT_{Em\acute{a}x}$ e fT_{Eres} obtidos através do torquímetro elétrico - FET - Unesp - Bauru	435
QUADRO 196 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - FET - Unesp - Bauru	436
QUADRO 197 - Valores de $fT_{Em\acute{a}x}$ e fT_{Eres} obtidos através do torquímetro elétrico - FEIS - Unesp - Ilha Solteira	437
QUADRO 198 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - FEIS - Unesp - Ilha Solteira.....	438

QUADRO 199 - Valores de $fTE_{m\acute{a}x}$ e fTE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico - Politécnica/ABEF – USP – São Paulo.....	439
QUADRO 200 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - Politécnica/ABEF – USP – São Paulo.....	439
QUADRO 201 - Valores de fT obtidos através dos torquímetros elétrico e analógico - Baixada Santista (SP)	440
QUADRO 202 - Coeficientes empíricos $s\lambda$ e sp obtidos para Ranzini (2000).....	451
QUADRO 203 - Fatores multiplicadores Fp e $F\lambda$ para serem aplicados ao método de Ranzini (2000)	451
QUADRO 204 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas através de Ranzini (2000) os fatores multiplicadores	452
QUADRO 205 - Coeficientes empíricos $s\lambda$ e sp obtidos para a parcela de atrito lateral em função de $fT_{m\acute{a}x}$	453
QUADRO 206 - Fatores multiplicadores Fp e $F\lambda$ para serem aplicados ao método de Ranzini (2000)	454
QUADRO 207 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas através de Ranzini (2000) utilizando-se os coeficientes $s\lambda'$ e sp'	455
QUADRO 208 - Coeficientes-de-variação para a relação PP_{CAL}/PP , PL_{CAL}/PL e PR_{CAL}/PR para cada tipo de estaca	456

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Sigla	Descrição
ABEF	- Associação Brasileira de Engenharia de Fundações
ABMS	- Associação Brasileira de Mecânica dos Solos
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	- American Society for Testing and Materials
BIC	- Seminário Brasileiro de Investigações de Campo
CESP	- Companhia Energética de São Paulo
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
EP	- Escola Politécnica
Feagri	- Faculdade de engenharia Agrícola da Unicamp
FEIS	- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
FET	- Faculdade de Engenharia e Tecnologia
LCECC	- Laboratório Central de engenharia Civil da Cesp
SEFE	- Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia
UEL	- Universidade Estadual de Londrina
UFLA	- Universidade Federal de Lavras
UnB	- Universidade de Brasília
Unesp	- Universidade Estadual Paulista
USP	- Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo - descrição

Ac	- Atividade coloidal
Ap	- Área da seção transversal da estaca
$A\lambda$	- Área da superfície lateral, enterrada, da estaca
AT	- Argilas Transicionais
c	- Coesão
C	- Coeficiente em função do tipo de solo sugerido por Decourt (1996)
Cc	- Índice de compressão
CEn	- Furo do CPT elétrico
CPT	- <i>Cone Penetration Test</i> ; Ensaio do Cone de Penetração
cv	- Coeficiente-de-variação
d	- Diâmetro do amostrador
$\bar{d}$	- Diferença média entre pares
di	- Diferença entre pares
D	- Diâmetro da estaca
DMT	- Dilatômetro de Marchetti; Ensaio Dilatométrico
e	- Índice de vazios
e	- eficiência do amostrador
e_0	- Índice de vazios inicial
ei	- Índice de vazios antes da inundação
E	- Energia transmitida pela haste no ensaio SPT
E_0	- Energia teórica do martelo no ensaio SPT
$F_1; F_2$	- Fatores de segurança, em função do tipo de estaca, sugeridos por Aoki e Velloso (1975)
fi	- tensão de atrito lateral residual medida pelo torquímetro na altura do trecho elementar de ordem "i" do fuste
fp	- Tensão na ponta através de Ranzini (2000)
FR	- Razão de atrito
fs; fc	- Tensão de atrito lateral local obtido através do CPT
fT	- Tensão de atrito lateral obtido através de Ranzini (1994)
fTE _{máx}	- Tensão de atrito lateral obtido através de Ranzini (1994), quando se utiliza o torque máximo e o equipamento elétrico
fTE _{res}	- Tensão de atrito lateral obtido através de Ranzini (1994), quando se utiliza o torque residual e o equipamento elétrico
fT _{máx}	- Tensão de atrito lateral obtido através de Ranzini (1994), quando se utiliza o torque máximo e o equipamento analógico
fT _{res}	- Tensão de atrito lateral obtido através de Ranzini (1994), quando se utiliza o torque residual e o equipamento analógico

f_{λ}	- Tensão de atrito lateral sugerido por Ranzini (2000)
h	- Comprimento de cravação do amostrador
i	- Coeficiente de colapso estrutural
K_0	- Coeficiente de empuxo em repouso
K_n	- Fatores que dependem do tipo de solo segundo Mello (1971)
L	- Comprimento da estaca cravada no solo
LL	- Limite de liquidez
LP	- Limite de plasticidade
n	- Porosidade
N	- Resistência à penetração
N_{60}	- Resistência à penetração para eficiência de 60%
N_{72}	- Resistência à penetração para eficiência de 72%
NA	- Nível d'água
Neq	- Resistência à penetração equivalente ao valor numérico igual a $T/1,2$
OCR	- Razão de sobre-adensamento
P	- Carga Pontual
PC	- Prova-de-carga
$PC-L$	- Prova-de-carga lenta
$PC-M$	- Prova-de-carga mista
$PC-R$	- Prova-de-carga rápida
PIT	- Poço de inspeção
PL	- Carga referente ao atrito lateral
PMT	- Ensaio Pressiométrico
PP	- Carga referente à ponta
PR	- Carga de ruptura
qc	- Resistência de ponta obtida através do ensaio CPT
qp	- Resistência de ponta obtida segundo Decourt (1996)
q_P	- Resistência de ponta obtida através de provas-de-carga instrumentadas
q_s	- Resistência de atrito lateral obtida através de provas-de-carga instrumentadas
q_{λ}	- Resistências de atrito lateral obtida através de Decourt (1996)
q_U	- Resistência de ruptura obtida através de provas-de-carga instrumentadas
Qu	- Carga de Ruptura obtida através de Decourt (1996)
r	- Recalque
R_c	- Resistência à compressão simples
r_{λ}	- Tensão de atrito lateral obtida através de Alonso (1996 a e b)
sd	- Desvio-padrão
s_{λ}	- Coeficiente empírico, para a parcela de atrito lateral, sugerido por Ranzini (2000)
sp	- Coeficiente empírico, para a parcela da ponta, sugerido por Ranzini (2000)
SFL	- Sedimentos Flúvio-Lagunares
SP_n	- Furo de sondagem SPT
SPT	- Sondagem à percussão
$SPT-T$	- Sondagem à percussão com medida de torque
S_r	- Grau de saturação

S_u	- Resistência ao Cisalhamento não drenado
t	- Valor tabelado da distribuição <i>t de Student</i>
t_{obs}	Valor calculado da distribuição <i>t de Student</i>
T	- torque
$T_{Emáx}$	- Torque máximo obtido através de equipamento elétrico
T_{Eres}	- Torque residual obtido através de equipamento elétrico
$T_{máx}$	- Torque máximo obtido através de equipamento analógico
T_{res}	- Torque residual obtido através de equipamento analógico
U	- Perímetro da estaca
VST	- Ensaio de palheta
Δ_{ec}	- Variação do índice de vazios devido ao colapso da estrutura do solo
$\Delta\lambda_i$	- comprimento do trecho elementar de ordem "i" do fuste
ϕ	- Ângulo de atrito
σ	- Tensão
ε	- Deformação específica
$\alpha;\beta$	- coeficientes, em função do tipo de solo e do tipo de estaca, sugeridos por Decourt (1996)
α_T	- Coeficiente sugerido por Carvalho et al (1998)
σ'_{ad}	- Tensão de pré-adensamento
σ'_v	- Tensão normal efetiva
σ'_{v0}	- Tensão efetiva geostática
γ_d	- Peso específico seco
γ_{nat}	- Peso específico natural
γ_s	- Peso específico dos sólidos

RESUMO

Esta pesquisa tem por objetivo analisar, detalhadamente, o ensaio *SPT-T*, procurando fornecer ao meio técnico subsídios para a sua adequada utilização. Para tanto, foram desenvolvidas as seguintes principais atividades: levantamento de dados de sondagens *SPT-T* junto às empresas executoras, totalizando sete mil pares de resultados ($N;T$); construção de um torquímetro elétrico com sistema de aquisição automática de dados, proporcionando a obtenção da curva torque *versus* ângulo-de-rotação; realização de ensaios *SPT-T* em seis Campos Experimentais, nos quais já se dispunha informações geotécnicas do subsolo e dados de provas-de-carga em fundações. Também, na Baixada Santista, foram executados um furo de sondagem *SPT-T* e outro de ensaio de palheta .

Através dos resultados dos ensaios e das curvas torque *versus* ângulo-de-rotação foram realizadas as seguintes análises:

- Definir torques máximo e residual, bem como diferenciar a forma da curva em função do tipo de solo ;
- Fazer uma proposta inicial de previsão da capacidade-de-carga de estacas através da adesão solo-amostrador, fT , proposta por Ranzini (1988);
- Estudar a utilização dos parâmetros obtidos através do Cone de Penetração Estática, *CPT*, com os parâmetros obtidos através do *SPT-T*;
- Mostrar a variabilidade das relações $T_{máx}/N$ e $T_{máx}/T_{res}$ e
- Sugerir um procedimento para a execução do ensaio *SPT-T*.

Todas as curvas torque *versus* ângulo-de-rotação estão contidas no *Compact Disc* afixado na contra-capá desse trabalho.

ABSTRACT

This research was intended to furnish subsidesto a proper use of the torque measurement in the SPT-T tests aiming to the preview of the bearing capacity of piles.

To obtain the torque measurements it was developed an eletric torquimeter and the system of acquisition of data that allowed the plotting of the "torque versus rotation degree" curves. The SPT-T tests were carried out on six places where many geotechnical data and pile load tests were available.

The test results of the "torque versus rotation degree" allowed the following analyses:

- Behavior of the torque versus rotation-degree curve;*
- Definition of of the maximum and residual torques;*
- Initial proposal of load-capacity precast of piles through the adhesion soil-sampler, fT , proposed by Ranzini (1988);*
- Correlations between CPT and SPT parameters,*
- Show the variability of $T_{\text{máx}}/N$ and $T_{\text{máx}}/T_{\text{res}}$ relationships;*
- Procedure suggestion for the execution of the SPT-T test.*

All the torque versus rotation-degree curves obtained in this research are in the Compact Disc at the end of this volume.

1. INTRODUÇÃO

O ensaio *SPT-T*, introduzido por Ranzini (1988), trouxe a possibilidade de obtenção de um parâmetro importante para o cálculo de fundações de maneira simples e barata. Desde então, vários pesquisadores vêm incentivando sua utilização na prática da engenharia de fundações.

No entanto, uma pesquisa específica que abordasse, de maneira mais ampla e científica, sua real aplicabilidade na engenharia geotécnica, fez-se necessária.

Sendo assim, para se atingir esse objetivo, inicialmente foi realizado um levantamento de dados junto às três empresas tradicionais, executoras de *SPT-T*, resultando em aproximadamente sete mil pares de dados ($T;N$) associados aos respectivos solos classificados através de sistema tátil-visual.

Em seguida, foram construídos torquímetros elétricos com sistema de aquisição automática de dados que possibilitaram a obtenção da curva torque

versus ângulo-de-rotação, a qual, foi muito importante na interpretação dos resultados obtidos.

Depois dos equipamentos prontos, calibrados e testados, foram realizados ensaios *SPT-T* com o torque medido através do equipamento elétrico e analógico, simultaneamente. Esses ensaios foram realizados em sete locais diferentes:

- Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), Unicamp, Campinas (SP);
- Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras (MG);
- Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos (*EESC*), USP, São Carlos (SP);
- Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia (FET), Unesp, Bauru (SP);
- Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), Unesp, Ilha Solteira (SP);
- Campo Experimental da Escola Politécnica (EP), USP, São Paulo (SP);
- Rodovia Piaçaguera/Guarujá, km 79,7, Guarujá (SP).

Através dos resultados desses ensaios realizaram-se os seguintes estudos:

- Análise da curva torque *versus* ângulo-de-rotação, que possibilitou a definição do *T_{máx}* e do *T_{res}* e o estudo da influência do tipo do solo na forma da curva;
- Análises da relação *T/N* para diferentes tipos de solo;
- Análises da relação *T_{máx}/T_{res}* para diferentes tipos de solo;

- Comparação dos parâmetros obtidos através do *CPT* com aqueles obtidos através do *SPT-T*;
- Estimativa da capacidade-de-carga de estacas através dos parâmetros obtidos do ensaio *SPT-T*;
- Sugestão de procedimento do ensaio.

O cumprimento de diversos objetivos, e/ou estudos, tornou a Tese extensa. Assim, para facilitar o entendimento da mesma, uma breve explicação da disposição dos capítulos é apresentada a seguir.

Primeiramente, no Capítulo 2, **Metodologia**, é demonstrado o método pelo qual essa pesquisa foi desenvolvida.

No Capítulo 3, **Revisão Bibliográfica**, estão apresentados os estudos de vários pesquisadores brasileiros e estrangeiros, mostrando, logo de início, o potencial do ensaio *SPT-T*.

O Capítulo 4, **Torquímetro Elétrico, Medida do Ângulo-de-Rotação e Execução dos Ensaio *SPT-T***, refere-se à parte experimental da pesquisa, da qual constam a construção do equipamento e o procedimento de realização dos ensaios.

No Capítulo 5, **Campos Experimentais e Resultados de *SPT-T***, apresenta-se a caracterização geológico-geotécnica dos sete locais e os resultados dos ensaios *SPT-T*.

Os Capítulos de 6 a 9 contêm as análises dos resultados apresentados no Capítulo 5. Nesses quatro capítulos, os resultados foram estudados por Campo Experimental primeiramente, destacando-se as peculiaridades de cada local e, ao

final, são apresentadas análises gerais do estudo em questão, bem como conclusões parciais.

Do Capítulo 6, **Análise das Curvas Torque *versus* Ângulo-de-Rotação**, constam as curvas torque *versus* ângulo-de-rotação para as principais camadas de cada Campo Experimental. Comparam-se os dados obtidos através do torquímetro elétrico com os medidos no torquímetro analógico. Os torques máximo e residual são definidos, e também é feita a análise da relação entre esses dois parâmetros. A variação do torque em função tempo de cravação do amostrador e velocidade-de-rotação são avaliados.

No Capítulo 7, **Relação T/N** , primeiramente são analisados cerca de 7000 pares de dados ($T;N$), já existentes anteriormente a esta pesquisa, coletados junto a três empresas do Estado de São Paulo. Posteriormente, são analisados os resultados obtidos dos ensaios realizados para essa pesquisa.

No Capítulo 8, **Comparações entre os resultados obtidos através do *SPT-T* e do *CPT***, são realizadas análises, considerando-se tanto o ensaio de penetração do cone realizado com a ponteira mecânica cone-atrito (luva de Begemann), como o ensaio realizado com a ponteira cone-atrito.

No Capítulo 9, **Previsão da Capacidade-de-Carga das Estacas através dos Métodos já Existentes Utilizando-se *SPT-T***, são comparadas as capacidades-de-carga de estacas obtidas tanto através dos métodos já existentes que aplicam os resultados do *SPT-T*, como os mais utilizados no Brasil que empregam resultados do *SPT* e *CPT*, com os resultados de provas-de-carga nos seis Campos Experimentais estudados.

No Capítulo 10, **Novas Propostas para Cálculo da Capacidade-de-Carga de Estacas através do *SPT-T***, é apresentada a metodologia proposta por Ranzini (2000) com os cálculos dos coeficientes empíricos sugeridos por este autor, além

de uma nova proposta para a estimativa da capacidade-de-carga de estacas utilizando-se os parâmetros obtidos através do ensaio *SPT-T*.

No Capítulo 11, **Sugestão de Padronização do Ensaio *SPT-T***, é proposto um procedimento para a realização do ensaio *SPT-T*.

Finalmente no Capítulo 12, **Conclusões**, são apresentadas as conclusões finais sobre a aplicabilidade do ensaio *SPT-T*.

Nos Anexos de A a D são apresentados estudos complementares sobre o assunto: fatores intervenientes do ensaio *SPT*; o cálculo da adesão segundo Ranzini (1994); coeficiente-de-variação em função da profundidade para os vários parâmetros obtidos através dessa pesquisa; a utilização da relação T/N no cálculo de capacidade-de-carga de estacas.

Também é importante ressaltar que, nesta pesquisa, serão comparadas várias tensões de atritos laterais obtidas de maneiras diferentes. Assim, para facilitar a rápida identificação a qual atrito se está referindo, optou-se por utilizarem as seguintes nomenclaturas:

- Atritos laterais obtido através de ensaios in situ:
 - f_T : adesão solo-amostrador obtida através de Ranzini (1994);
 - f_s : resistência de atrito lateral local obtida através do CPT;
 - q_s : tensão de atrito lateral obtida através de provas-de-carga instrumentadas;
- Atritos laterais interpretados por métodos de análises:
 - q_λ : tensão de atrito lateral no fuste da estaca obtida através de Decourt (1996);
 - r_λ : tensão de atrito lateral no fuste da estaca obtida através de Alonso (1996a e b);
 - f_λ : tensão de atrito lateral no fuste da estaca sugerida por Ranzini (2000);

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizada a seguinte metodologia:

- Revisão Bibliográfica;
- Coleta e análise de dados já existentes;
- Construção do torquímetro elétrico;
- Realização dos ensaios;
- Análise dos dados.

2.1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Iniciou-se a pesquisa com uma revisão bibliográfica dos trabalhos já publicados sobre o *SPT-T*, a qual foi sendo atualizada no decorrer da mesma. Também fez-se um trabalho de Estado da Arte sobre os fatores intervenientes do *SPT*.

2.2 – COLETA E ANÁLISE DE DADOS JÁ EXISTENTES

Fez-se uma coleta de dados junto às principais empresas que realizavam o SPT-T na época do início da pesquisa: Engesolos Eng. de Solos e Fundações Ltda. e Sondasa Eng. Geotecnia e Fundações Ltda., além de dados já existentes dos Campos Experimentais da USP - São Paulo , USP - São Carlos, Unesp - Ilha Solteira, Unesp - Bauru e Unicamp - Campinas. Com isso, construiu-se um banco de dados no Microsoft Access que possibilitou uma análise detalhada da relação T/N , a qual é apresentada no Capítulo 7.

Comparou-se a resistência de atrito lateral local do *CPT* com a adesão solo-amostrador do *SPT-T*. Depois, ambos os valores foram comparados com aqueles obtidos de provas-de-carga instrumentadas dos Campos Experimentais de Fundações, sendo esses valores posteriormente acrescentados às análises do Capítulos 8 e 9.

2.3 – CONSTRUÇÃO DE TORQUÍMETRO ELÉTRICO COM SISTEMA DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS

Para o desenvolvimento da pesquisa fez-se necessário o estabelecimento de um procedimento padrão e o perfeito conhecimento do significado real das leituras feitas através dos torquímetros analógicos existentes no mercado.

Para se atingir este objetivo, foi necessária a construção de um torquímetro elétrico com sistema de aquisição automática de dados que possibilitou a obtenção da curva torque *versus* ângulo-de-rotação.

O estudo do comportamento desta curva foi importante para se conhecer o que realmente os torquímetros analógicos estão medindo, estabelecendo-se, assim: o significado de torques máximo e residual; o número de voltas necessárias para a obtenção de torque residual; subsídios para estudos da velocidade-de-rotação do equipamento e, finalmente, a proposição de uma metodologia de execução do ensaio *SPT-T*.

Antes da construção do torquímetro, houve uma fase inicial de observações de campo para se estudar possíveis fatores intervenientes que deveriam ser eliminados do projeto. A partir daí, passou-se à construção do equipamento, sua calibração, realização de testes em campo, para posterior realização dos ensaios que vieram a ser a ferramenta de análise desta pesquisa. O detalhamento deste trabalho está apresentado no Capítulo 4.

2.4 – REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Essa fase do projeto contou com duas etapas:

- Escolha dos locais para a realização dos ensaios e
- Locação e realização dos ensaios.

2.4.1 – Definição dos locais para a realização dos ensaios

Os locais escolhidos para a execução dos ensaios são os Campos Experimentais de Fundações das Universidades, onde foram realizadas provas-de-carga instrumentadas em estacas sendo elas: Unicamp (Campinas), USP (São Carlos e São Paulo), Unesp (Bauru e Ilha Solteira), UFLA (Lavras). Também foi escolhido um local na Baixada Santista, em Vicente de Carvalho para que o comportamento da curva torque *versus* ângulo-de-rotação em argila mole fosse objeto de estudo.

A caracterização de cada Campo Experimental, bem como os resultados dos ensaios SPT-T, estão apresentados no Capítulo 5.

2.4.2 – Realização dos ensaios

Em cada Campo Experimental procurou-se realizar os ensaios o mais próximo possível das estacas, nas quais foram realizadas provas-de-carga instrumentadas, sempre respeitando uma distância mínima de dois metros para que o furo de sondagem não fosse afetado pelo amolgamento causado tanto na cravação da estaca, como durante a realização das provas-de-carga.

As sondagens foram executadas no mínimo até dois metros abaixo da profundidade das estacas. Utilizou-se o avanço do furo por lavagem apenas abaixo do nível d'água para não impor um fator a mais de interferência nos resultados, nos solos colapsíveis ou expansivos.

Foram utilizados o mesmo equipamento e mesmos operadores em todos os ensaios realizados para esse trabalho.

Para cada metro de sondagem executada foram medidos também o teor-de-umidade da amostra, a temperatura ambiente, a curva torque *versus* ângulo-de-rotação e a contagem simultânea do tempo, possibilitando a obtenção da velocidade-de-rotação.

2.5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Depois de realizados os ensaios de campo, foram efetuadas as seguintes análises que constam dos Capítulos 6, 7, 8, 9 e 10:

2.5.1 – Obtenção das curvas torque *versus* ângulo-de-rotação

Foram desenhadas as curvas torque *versus* ângulo-de-rotação para todos os ensaios realizados nos sete campos experimentais, resultando em 466 gráficos. Em cada gráfico foram anotados o equipamento e a sua respectiva capacidade máxima, a temperatura ambiente e o teor-de-umidade do solo no momento do ensaio, a velocidade-de-rotação média, data de realização do respectivo ensaio e a frequência com que foram coletados os dados, como ilustrada na Figura 1.

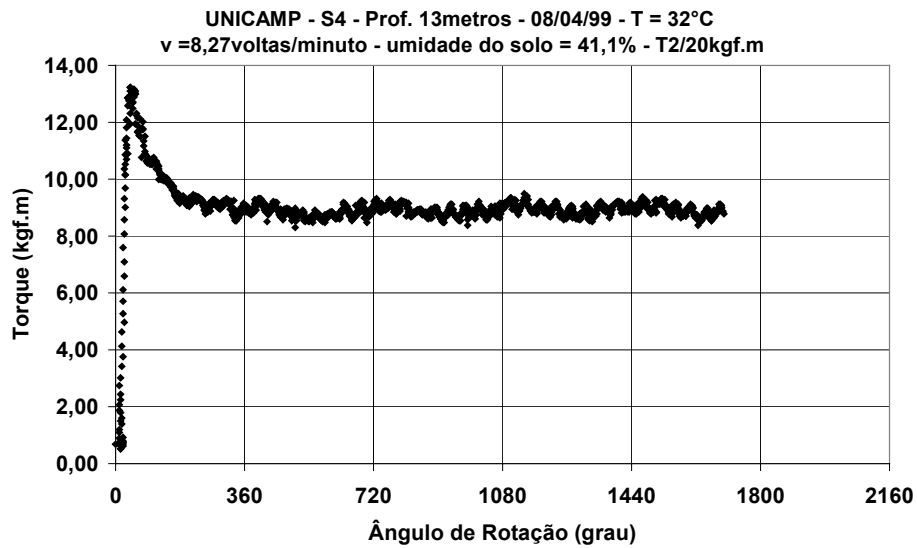


FIGURA 1 - Curva torque *versus* ângulo-de-rotação

2.5.2 – Construção do banco de dados dos resultados dos ensaios

Depois de obtidas todas as curvas, foi construído um banco de dados no Microsoft Access no qual os ensaios foram separados por tipo de solo, como ilustrada na Figura 2 estando os fatores considerados apresentados na forma da Figura 3.

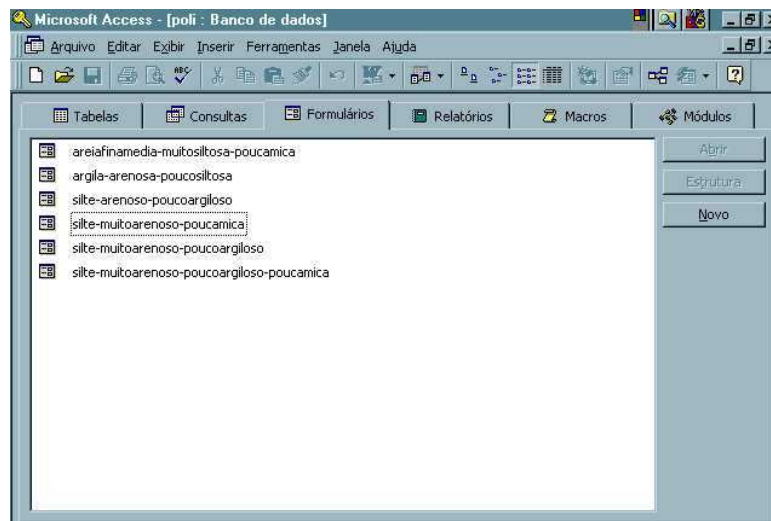


FIGURA 2 - Banco de Dados do *Microsoft Access* para Politécnica - USP

Código	1	Tres máximo (kgfm)	6,15
Local	POLI	Desvio TRmax	0,196
Furo	6	Tres mínimo (kgfm)	5,38
Prof (m)	1	Desvio TRmin	0,115
Temperatura (°C)	22,5	TRmin estabilizou?	Sim
Velocidade de Rotação (voltas/minuto)	7,42	Ângulo Intervalo (grau)	360,77
Teor de Umidade (%)	22,2	Desvio ângulo	24,44
Equipamento	T2/20kgf.m	N SPT	3,87
Tmax (kgfm)	8,83	Tmáx SPT	7,66
Ângulo Máximo (grau)	38,28	Tres SPT	3,83
Tres (kgfm)	6,58	Característica	marrom amarelo e marrom avermelhado
Ângulo Residual (grau)	226,21		

FIGURA 3 - Formulário do Banco de Dados

2.5.3 – Comparação entre os resultados obtidos eletronicamente e aqueles obtidos através do torquímetro analógico

Compararam-se torques obtidos com o tradicional torquímetro analógico com aqueles obtidos eletronicamente em cada Campo Experimental, considerando-se o tipo de solo.

Este estudo foi realizado, através de uma análise estatística de dados pareados, com um Teste de Hipóteses para as diferenças entre pares de resultados. Foram feitos também gráficos para cada Campo Experimental, com o objetivo de possibilitar uma melhor visualização dos dados pareados.

2.5.4 – Definição do torque residual

O objetivo deste item foi fornecer ao meio técnico um número específico de voltas que indicaria a leitura do torque residual. Para isso foi estudado o comportamento das 466 curvas, considerando-se a granulometria do solo e a geologia local.

2.5.5 – Comparação entre os torques máximo e residual

Nesta análise os dados foram separados por tipo de solo em cada Campo Experimental. Os valores torques máximo e residual obtidos tanto analogicamente como eletronicamente. Este estudo foi feito através da estatística descritiva no qual foram construídos histogramas das relações $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ de ambos os equipamentos e calculadas as médias e os desvios-padrões.

2.5.6 – Leitura da Energia de Cravação

A energia de cravação do amostrador foi medida no equipamento com o qual se realizaram todos os ensaios SPT-T dessa pesquisa, visando obter-se a eficiência do mesmo e ter-se um parâmetro para facilitar a compreensão do estudo quando comparado com outros equipamentos de sondagem e, também, comprovar que o ensaio foi realizado de acordo com as especificações da norma.

Esse estudo foi realizado segundo a metodologia de Belincanta (1998) e contou com a presença do mesmo para a realização das medidas.

2.5.7 – Estudo da influência do tempo de cravação do amostrador no valor do torque

Nos Campos Experimentais da Unicamp, das Unesp de Bauru e Ilha Solteira, da Escola Politécnica da USP e do local na Baixada Santista, em algumas profundidades, o amostrador foi deixado em repouso, em tempos variando de algumas horas a quinze dias, conforme a disponibilidade do equipamento para não afetar o andamento da obra.

Este estudo teve por objetivo avaliar a recuperação do torque em função do tempo em diferentes tipos de solo e também ter subsídios para propor, em uma padronização, que o torque deva ser medido logo após a cravação do amostrador.

2.5.8 – Estudo da influência da velocidade-de-rotação no valor do torque

Este estudo foi realizado apenas no Campo Experimental da Unicamp em continuação da análise da influência do tempo de cravação.

Primeiramente, foram deixados em repouso dois amostradores em furos diferentes, um a cinco metros e outro a quinze metros de profundidade,

respectivamente. Após a estabilização da leitura do torque em função do tempo, modificou-se a velocidade-de-rotação para se ter uma idéia preliminar dessa variação.

2.5.9 – Relação T/N

Para esse estudo foram feitas análises estatísticas descritivas da relação T/N , considerando-se os dados coletados, inicialmente junto às empresas e nos Campos Experimentais, para depois serem analisados os resultados dos ensaios realizados para esta pesquisa. As análises consideraram a granulometria do solo e geologia local, dando-se especial atenção aos solos colapsíveis, residuais e sedimentos marinhos.

2.5.10 – Comparação entre os atritos laterais do Cone Elétrico e do $SPT-T$

Essa comparação foi realizada para os dados dos Campos Experimentais da Unesp de Bauru, Unicamp e EESC da USP utilizando-se de dados do CPT do tipo elétrico e, também, para a Unesp de Ilha Solteira e Escola Politécnica da USP, com os dados do CPT do tipo cone-atrito mecânico (ponteira Begemann).

2.6 – CÁLCULO DE CAPACIDADE-DE-CARGA DE ESTACAS UTILIZANDO O *SPT-T*

Inicialmente foram calculadas as capacidades de carga das estacas através dos métodos já consagrados na prática brasileira, Decourt e Quaresma (1978), Aoki e Velloso (1975) e Philipponnat (1978), além dos métodos já existentes utilizando-se o *SPT-T*:

- Método Decourt e Quaresma (1978) e revisto em Decourt *in* Hachich *et al* (1996)
- Alonso (1996a e 1996b)
- Carvalho *et al* (1998)

Depois foi realizado um estudo para a obtenção dos coeficientes empíricos, $s\lambda$ e $s\phi$, sugeridos por Ranzini (2000) para finalmente serem efetuados ajustes às metodologias para a proposição de um método que acumulasse a experiência já existente com o valor N e o novo parâmetro fT sugerido por Ranzini (1988).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O *SPT-T* foi proposto por Ranzini (1988). Esse ensaio consiste na execução do ensaio *SPT*, normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 6484/80) e, logo após terminada a cravação do amostrador, é aplicada uma rotação ao conjunto haste-amostrador com o auxílio de um torquímetro, Figura 4. Durante a rotação, toma-se a leitura do torque máximo necessário para romper a adesão entre o solo e o amostrador, permitindo a obtenção do atrito lateral amostrador-solo.

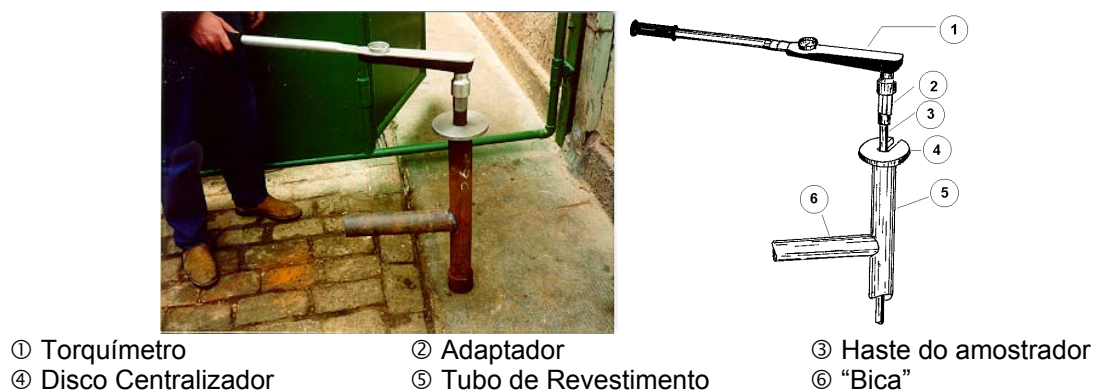


FIGURA 4 - Torquímetro (Alonso, 1994)

A medida do torque provavelmente possui a vantagem de não ser afetada pelas conhecidas fontes de erros do valor tradicional do *SPT* (contagem do número de golpes, altura de queda, peso da massa cadente, drapeamento e atrito das hastes, mau estado da sapata cortante, roldana, corda etc...). Outra vantagem desse procedimento, é a possibilidade de se obter um valor mais confiável da tensão lateral através do *SPT* e, por um custo adicional muito pequeno.

Outra medida que também pode ser obtida é a do torque residual, que consiste em continuar girando o amostrador até que a leitura se mantenha constante, quando, então, faz-se uma segunda medida. Uma sugestão para o número de voltas necessárias para a obtenção desse valor está sendo apresentada no Capítulo 11, como parte da proposta de execução do ensaio.

Para o trabalho em questão, é importante que se conheça a história do *SPT* e sua introdução no Brasil para melhor se entender como se chegou à padronização do atual procedimento, e como se iniciou a medida do torque sugerida por Ranzini (1988).

Como alguns dos objetivos desta pesquisa foram a análise do comportamento da curva torque *versus* ângulo-de-rotação e também a sugestão de uma padronização do ensaio *SPT-T*, é de fundamental importância ter-se um profundo conhecimento dos fatores intervenientes no ensaio *SPT*, já estudados por diversos autores. Este assunto está sendo abordado no Anexo A.

Basicamente, na prática atual, existem duas correntes de aplicação para o *SPT-T*: primeiro diz respeito ao estudo da relação T/N para obtenção de parâmetros geotécnicos e correção do valor N do *SPT*; e a segunda refere-se

obtenção do atrito lateral de estacas através da obtenção da adesão-atrito solo-amostrador.

3.1 – HISTÓRICO DO ENSAIO *SPT* E *SPT-T*

Os estudos relacionados ao ensaio Sondagem de Simples Reconhecimento existem desde 1902, quando Charles R. Gow introduziu o processo de cravação de uma haste de 2,54 centímetros, com um martelo de 50 quilogramas, substituindo, assim, o sistema de obtenção de amostra de solo através da perfuração com água.

Na década de 30, Fletcher & Morh introduziram o martelo de 63,6 quilogramas, altura de queda de 76,2 centímetros e o resultado do que seria o ensaio SPT na época como sendo o número de golpes necessários à cravação do amostrador por 30,48 cm dentro do solo, (Belincanta,1998).

No início de 1940, este ensaio foi introduzido no Brasil pelo Eng. Odair Grillo através do IPT de São Paulo e, em 1945, o Eng. Milton Vargas apresentou o trabalho “ A Exploração do Subsolo para Fins de Estudos de Fundações”, (Teixeira, 1993).

A falta de padronização provocou o surgimento de diversos equipamentos, bem como diferentes procedimentos foram adotados. Estes fatos causaram uma grande diversidade dos resultados, tornando difícil a correlação dos resultados do ensaio *SPT* com outros parâmetros. Desta maneira, a sondagem passou por um período de descrédito.

A primeira tentativa de padronização se deve à Associação Paulista de Geologia de Engenharia em 1977 (Atual Associação Brasileira de Geologia de Engenharia) : “ Diretrizes para Execução de Sondagens - 1ª Tentativa “.

Em 1974, o engenheiro Alberto Henriques Teixeira apresentou a primeira proposta de normatização para execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos, a qual serviu como base para a MB 1211, atual NBR-6484, (Teixeira, 1993).

Passados onze anos, Ranzini (1988) propôs uma pequena modificação no procedimento normal do ensaio de penetração dinâmica *SPT*, para a obtenção de um valor de atrito lateral. Na verdade, não seria bem uma modificação, mas sim, um pequeno prosseguimento do ensaio após o seu término, não alterando em nada o procedimento para obtenção do índice de resistência à penetração *N*. Depois do final da cravação do amostrador, para facilitar sua retirada, o operador costuma aplicar uma torção à haste com uma ferramenta (chave de grifo, por exemplo). Segundo Ranzini, em lugar da chave, o operador utilizaria um torquímetro, que forneceria a medida do momento de torção máximo necessário à rotação do amostrador. Este valor poderia ser utilizado, por exemplo, na avaliação da tensão lateral em estacas, através da adesão-atrito lateral estimado, desenvolvido na interface solo-amostrador, eq. (1) apresentada a seguir:

$$f_T = \frac{T}{(40,5366 * h - 17,4060)} \quad (1)$$

em que: f_T = tensão de atrito lateral (kgf/cm²)

T = torque máximo (cm.kgf)

h = penetração do amostrador (cm)

Para a dedução desta fórmula, Ranzini (1988) considerou uma variação linear da tensão de cisalhamento desde zero, no centro da base do amostrador, até uma tensão máxima na superfície lateral cilíndrica, passando pelo trecho tronco-cônico da sapata cortante, desprezando a diferença entre o atrito interno do solo e a parede lateral do amostrador no restante da superfície.

Esta fórmula foi corrigida depois de seis anos por Ranzini (1994), eq. (2). O autor considerou então que a tensão de atrito lateral fosse constante, tanto na face lateral do amostrador, como na abertura inferior. Isto porque entendeu que existe uma condição de equilíbrio entre o momento aplicado, por meio do torquímetro, e o momento resistente do atrito lateral, tomando-se como parâmetro, a profundidade (h) de cravação.

$$f_T = \frac{T}{2\pi \left\{ R^2 h - \frac{1}{3} \left[h_0 (R - r)(2R + r) - r^3 \right] \right\}} \quad (2)$$

em que: h = (altura total de cravação do amostrador)

R = 2,54 cm (raio externo do amostrador)

r = 1,905 cm (raio mínimo da boca do amostrador)

h_0 = 1,90 cm (altura do chanfro tronco-cônico)

Portanto:

$$f_T = \frac{T}{(40,5366h - 3,1711)} \quad (3)$$

em que: “ f_T ” em kgf/cm^2 , “ T ” em kgf.cm e “ h ” em cm

ou

$$f_T = \frac{T}{(41,336h - 0,032)} \quad (4)$$

em que: “ f_T ” em kPa, “ T ” em kN.m e “ h ” em m

Após a sugestão de Ranzini (1988), no início da década de 90, alguns engenheiros começaram a utilizar a medida do torque no *SPT*. Houve então duas correntes principais de aplicação: uma adotando o torque como fator de correção do valor *N*, outra utilizando a adesão-atrito solo-amostrador como de cálculo de capacidade-de-carga de fundações.

O primeiro a usar a medida do torque foi o Eng. Luciano Decourt que sugeriu a relação *T/N* como forma de aferição do valor *N* e também como parâmetro de classificação geotécnica dos solos. O Eng. Urbano Alonso Rodrigues seguiu a proposta original de Ranzini (1988), a qual consistia em utilizar o torque para a previsão da adesão-atrito lateral de estacas.

No final da década de 90, Lutenecker e Kelley (1998), pesquisadores da Universidade de Massachusetts, adotando a idéia brasileira de acrescentar o torque ao *SPT*, realizaram provas-de-carga à compressão e à tração no amostrador. Consideraram a seguinte equação, mais simplificada que a de Ranzini (1994), para o cálculo do atrito lateral:

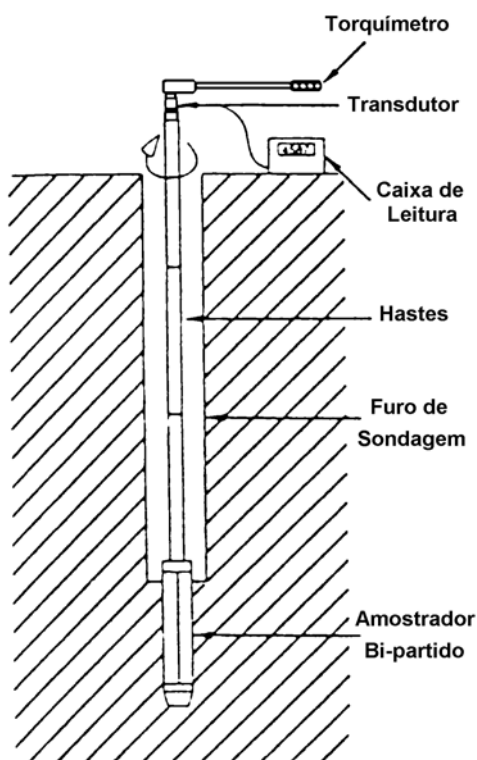
$$f_T = \frac{2 * T}{\pi * d^2 * L} \quad (5)$$

sendo: *T* = torque medido
 d = diâmetro do amostrador
 L = comprimento de cravação do amostrador

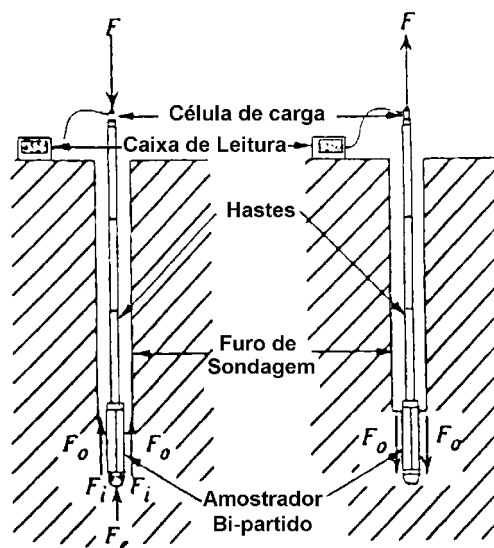
Esses autores compararam medidas de torque obtidas através de equipamentos analógico e elétrico, Figura 5, chegando à conclusão de que as medidas analógicas são satisfatórias. Afirmar essa importante para o incentivo da medida de torque na prática.

Na Figura 6 mostram-se ensaios de arrancamento e compressão do amostrador, realizados por Lutenecker e Kelley (1998) . Destes ensaios os autores obtiveram as tensões na ponta e de atrito lateral da seguinte forma: foi considerado, que no ensaio de compressão, é provocada uma força na ponta e outra de atrito lateral no amostrador, enquanto que no ensaio de tração induz-se apenas o aparecimento do atrito lateral.

Esses resultados estão apresentados na Figura 7, percebendo-se claramente que o atrito lateral obtido do torque e o do ensaio à tração se apresentam com coerência. Fatores como peso próprio das hastes, sucção, área variável da superfície de atrito e, anisotropia do solo também devem ter influenciado os resultados.



**FIGURA 5 - Esquema do ensaio SPT-T
apud Lutenecker e Kelley (1998)**



**FIGURA 6 - Esquema de
carregamento (compressão e tração)
com atrito lateral e ponta agindo no
amostrador apud Lutenecker e
Kelley (1998)**

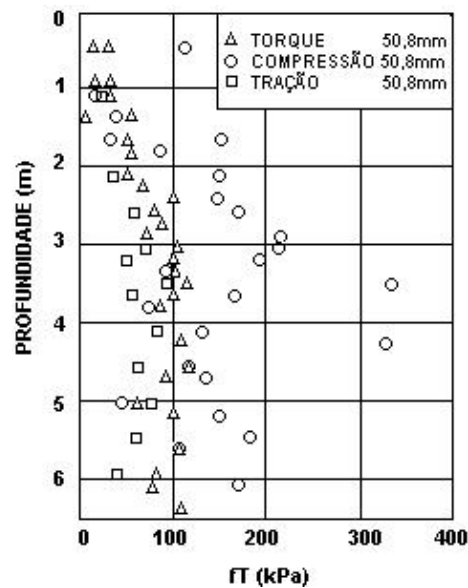


FIGURA 7 - Atrito lateral obtido através do *SPT-T*, do ensaio de tração e do ensaio de compressão no amostrador *apud* Lutenecker e Kelley (1998)

Incentivando a continuação de estudos do ensaio *SPT-T*, Presa (1996) apresentou uma breve revisão bibliográfica sobre o assunto, acentuando a importância de se incentivar a utilização do *SPT-T* no Brasil. O autor ressaltou a relevância do conhecimento da energia de cravação e da utilização do parâmetro de adesão-atrito lateral sugerida por Ranzini (1988).

Assim, com o objetivo de avaliar a operacionalidade e a obtenção de parâmetros de projeto de fundações através do *SPT-T*, Soares (1999) executou uma campanha desse ensaio e observou os seguintes fatores que influenciam no mesmo:

- Estado de conservação das hastes, das luvas e do amostrador;
- Necessidade de utilização de disco-centralizador para manter as hastes na vertical;
- A velocidade-de-rotação do torquímetro deve ser constante;

- O torquímetro deve ser utilizado na posição horizontal para não afetar na medida do torque;
- Falta de atenção do operador levando a erros de leitura e não zerar o torquímetro antes do início da rotação;
- Faixa de leitura dos torquímetros.

Baseado em sua experiência, Soares (1999) enumerou algumas vantagens e limitações do *SPT-T*.

Vantagens:

- Medida simultânea da resistência estática, T , e da medida dinâmica, N ;
- Aferição do valor N ;
- Utilização de equipamentos de fácil aquisição e de baixo custo;
- Não-necessidade de carga de reação, ou ancoragens provisórias, facilitando a execução;
- Maior similaridade com a condição de solicitação do solo quando da cravação de uma estaca de deslocamento.

Limitações:

- Causa torção das hastes e rompimento das luvas em solos com índices de resistência à penetração ou torque elevados;
- Exige muito esforço físico dos operadores quando executados em solos que oferecem maior resistência;
- Aumenta o tempo de ensaio, dependendo da resistência oferecida pelo solo. Contudo, nos ensaios realizados nessa pesquisa, o tempo de acréscimo com a medida do torque foi de um a dois minutos, estando em desacordo com a

afirmação de Soares (1999). Por outro lado, sabe-se que ensaios como o *CPT* elétrico são muito mais rápidos pois, enquanto um ensaio de *SPT-T* demora um dia inteiro para realizar quinze metros, o outro demora em torno de duas horas.

3.2 – CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS E RESULTADOS DO ENSAIO *SPT-T*

Neste item estão apresentadas tanto as possíveis correlações, já publicadas na literatura, dos resultados do ensaio *SPT-T* com classificações geotécnicas dos solos e parâmetros de deformabilidade, bem como a influência da sucção nos resultados de índice de resistência e torque.

Os estudos nesta área iniciaram-se com Decourt e Quaresma Filho (1991), os quais apresentaram correlações entre torque obtido do *SPT-T* e o N_{72} em solos sedimentares, eq. (6), e residuais, eq. (7). Cabe ressaltar que o N_{72} é o valor de N para uma eficiência de cravação de 72%, que corresponde à média das energias de cravação obtidas com os equipamentos utilizados no Brasil.

$$T \text{ (kgf.m)} = 1,10 N_{72} \quad \text{ (para solos sedimentares)} \quad (6)$$

$$T \text{ (kgf.m)} = 1,84 N_{72} \quad \text{ (para solos residuais)} \quad (7)$$

Decourt e Quaresma Filho (1991) concluíram que esta diferença entre as equações mostra que o K_0 , coeficiente de empuxo em repouso para solos

residuais, é maior do que para solos sedimentares. Para esses autores, essas correlações, quando bem definidas, podem tornar perceptíveis certos problemas com os valores de N no SPT , como por exemplo, camadas de areia com alguns pedregulhos conduzem a valores de N mais altos do que o real.

Nesse mesmo ano, Decourt (1991) apresentou uma nova relação T/N para os solos da bacia sedimentar de São Paulo, ao invés do 1,1, esse valor seria 1,2. Além disso, considerando esses solos os mais estudados do Brasil, propôs um Neq como sendo o valor do torque (kgf.m) dividido por 1,2.

Assim, para um solo qualquer, com uma relação T/N qualquer, poderia se obter um Neq , o qual corresponderia ao valor que uma sondagem SPT daria se, em lugar do solo local, estivessem os solos da bacia sedimentar terciária de São Paulo, sendo esse um solo pouco estruturado e para o qual já foram estabelecidas várias correlações.

Desta maneira, se fosse feito um ensaio em um local "X" cujo torque resultasse em 12kgf.m, o Neq seria 10, o qual corresponderia ao valor de N se o solo correspondesse a bacia sedimentar terciária de São Paulo.

O autor ainda apresentou as seguintes análises $T \times N_{72}$ para diferentes tipos de solo:

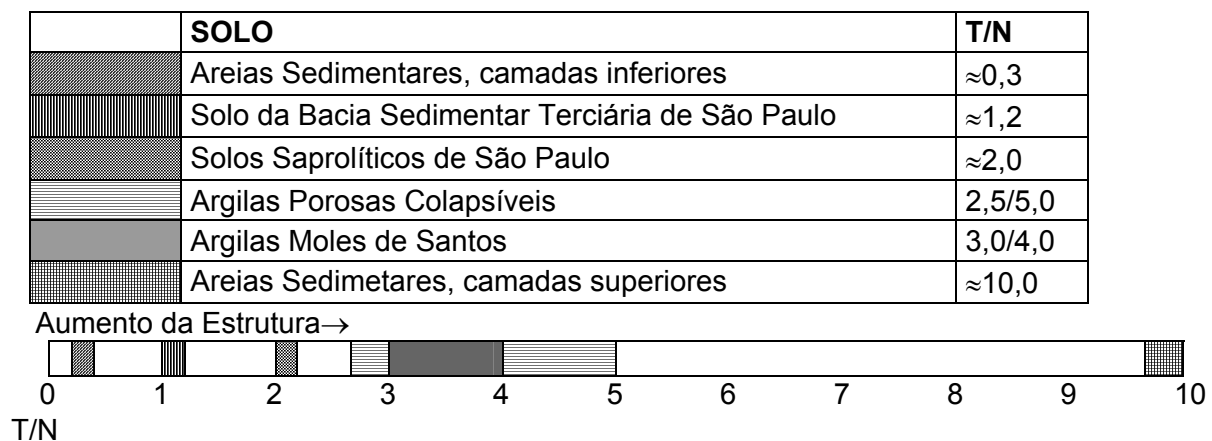
- *Solos terciários da bacia de São Paulo (geral)*: $T = 1,2 N_{72}$. Valores não válidos para solos com presença de pedregulhos;
- *Solos residuais de granito, gnaiss e migmatito*: $T = 1,84 * N_{72}$;
- *Areias finas, quase puras, da baixada Santista*:
 - acima do lençol freático, $T \cong N_{72}$

- abaixo do lençol freático com N_{72} maior que 20, T entre N_{72} e $0,5 \cdot N_{72}$
- para N_{72} inferior a 20, maiores dispersões;
- *Argilas moles (sedimentos quaternários)*: a relação N_{eq}/N_{72} apresenta uma boa correlação com a sensibilidade obtida do *Vane Test*:
 - $T = 0,4 \cdot z$ relação obtida estatisticamente
 - em que z é a profundidade em que foi realizado o ensaio

Um ano depois, Decourt (1992) atentou para a grande vantagem da medida de torque sobre o valor N do *SPT*, pois o primeiro é uma medida estática, enquanto o segundo é dinâmica. Outra vantagem é que, embora durante a realização do *SPT*, a estrutura do solo seja quebrada dentro do amostrador, o torque mede o atrito lateral numa região em que, apesar de parcialmente perturbada, ainda preserva a estrutura original. Assim, solos mais estruturados tendem a possuir T/N maiores, o que está bem exemplificado em Decourt (1998),

Quadro 1:

QUADRO 1 - Classificação de solos baseada em T/N apud Decourt (1998)



Comparando-se solos que estão abaixo do nível d'água e acima do mesmo, Decourt e Quaresma Filho (1994) apresentaram, no Quadro 2, valores de T/N para as areias finas de Santos, em função da profundidade. Observa-se claramente nesse Quadro que a relação diminui para os solos abaixo do nível d'água.

Decourt (1992), com o auxílio dos engenheiros J. M. Camargo de Barros e A R. Quaresma Filho, fez uma campanha de ensaios de laboratório exatamente no eixo de dois furos de sondagem visando à comparação do índice de colapsibilidade C.I. , Figura 8, e chegou às seguintes conclusões: T/N maior do que 2 é típico de solo colapsível e T/N em torno de 1,2 é típico de solo não-colapsível. Essa conclusão foi modificada quando Decourt (1996) percebeu que alguns solos colapsíveis do interior de São Paulo apresentavam T/N menores do que o valor unitário.

**QUADRO 2 - T/N valores para areias finas, acima e abaixo do nível d'água
apud Decourt e Quaresma Filho (1994),**

NÍVEL D'ÁGUA	PROFUNDIDADE (m)	T/N média para cada profundidade	T/N Média acima e abaixo Nível d'água
Acima	1,00	0,97	1,02
	2,00	1,07	
Abaixo	3,00	0,64	0,71
	4,00	0,42	
	5,00	0,69	
	6,00	0,74	
	7,00	0,70	
	8,00	1,08	
	9,00	0,78	
	10,00	0,65	

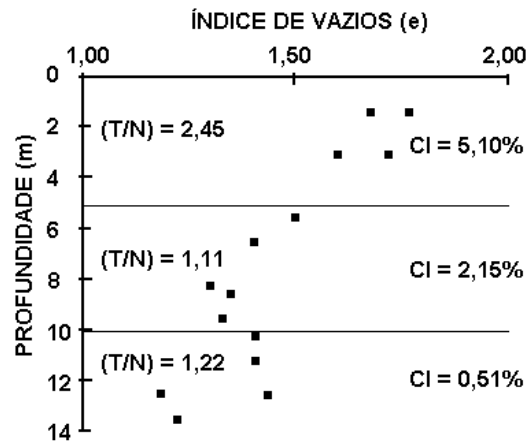


FIGURA 8 - Índice de Vazios (e), Índice de Colapsibilidade (C.I.) e T/N apud DECOURT (1992)

Alonso (1994) analisou resultados de ensaios, apresentados no Quadro 3, realizados em vários locais, onde estudou uma correlação entre o atrito lateral unitário fT e o índice de resistência à penetração N , a partir das eq. (8) e eq. (9), utilizando-se o método dos mínimos quadrados:

$$fT = a + b \cdot N \quad (8)$$

$$\text{e } fT = c \cdot N \quad (\text{quando } a < 0) \quad (9)$$

Rescrevendo-se as expressões obtidas por Decourt e Quaresma (1991) em função da tensão de atrito lateral, para solo sedimentar, eq.(6) , e para solo residual, eq. (7), em função da expressão $fT = \frac{T}{K}$, adotando-se $h=45\text{cm}$ obtém-se:

$$fT = \frac{N}{16} \quad (\text{solo sedimentar}) \quad (10)$$

$$fT = \frac{N}{10} \quad (\text{solo residual}) \quad (11)$$

Comparando-se as eq. (10) e eq. (11) com aquelas mostradas no Quadro 3 para fT , observa-se que apenas as relações correspondentes aos solos sedimentares da cidade de São Paulo e ao solo residual da Unicamp apresentam uma boa concordância com as equações obtidas por Decourt e Quaresma Filho (1991) . Desta maneira, Alonso(1994) concluiu que a correlação $fT \times N$ não é universal.

QUADRO 3 - Correlação entre fT (kgf/cm²) e N , do SPT-T apud Alonso (1991)

		Região	Solo Encontrado (Predominante)	SPT (N)	Nº de ponto s	Valores de ft (kgf/cm ²)		
						eq. (8)	eq. (9)	80% confiança
Cidade São Paulo	Sedimentar	S1	Areia fina e média pouco argilosa	6 a 36	26	a<0	N/17	N/11 a N/27
		S2	Argila siltosa pouco arenosa	3 a 16	55	a<0	N/17	N/14 a N/21
		S3	Argila silto-arenosa Areia fina e média argilosa	2 a 51	79	0,27+N/24	N/18	N/11 a N/23
		S4	Argila siltosa pouco arenosa Areia fina e média argilosa	3 a 47	65	0,08+N/19	N/18	N/14 a N/23
		S5	Argila silto-arenosa Areia fina e média argilosa	1 a 52	90	0,09+N/18	N/17	N/13 a N/20
		S6	Arg. org. siltosa pouco arenosa Areia fina e média argilosa	0 a 30	47	0,13+N/25	N/20	N/10 a N/25
		S7	Arg. org. siltosa pouco arenosa Argila siltosa pouco arenosa	0 a 21	106	0,01+N/18	N/18	N/16 a N/22
	Residual	R1	Silte arenoso pouco argiloso	7 a 33	29	0,19+N/18	N/10	N/11 a N/20
		R2	Silte arenoso pouco argiloso	9 a 38	8	0,01+N/17	N/33	N/13 a N/23
		R3	Silte arenoso pouco argiloso	6 a 21	16	a<0	N/11,5	N/11 a N/22
USP (São Carlos)		Areia fina média pouco argilosa (Sedimentar)	2 a 15	40	a<0	N/10	N/7 a N/21	
Unicamp (Campinas)		Argila silto-arenosa, vermelha (Sedimentar)	2 a 7	11	0,06+N/59	N/33	N/21 a N/55	
		Silte argiloso pouco arenoso (Residual)	2 a 19	29	0,10+N/13	N/11,5	N/8 a N/19	
Nota: 1 kgf/cm ² ≅ 10 tf/m ² = 100 kPa ≅ 0,1 MPa								

Menezes e Dall'Aglio Sobrinho (1994) realizaram 6 furos de sondagem *SPT-T* na cidade Ilha Solteira, Quadro 4, onde o solo possui inicialmente uma formação coluvionar de até 11 metros (areia fina pouco argilosa) e em seguida uma camada, de aproximadamente 6 metros, de solo aluvionar, isto é, solo sedimentar.

Como é possível observar no Quadro 4, as sondagens foram realizadas com diferentes equipamentos, pois o objetivo desse trabalho foi estudar a diferenciação das normas brasileira e americana, além das energias obtidas através de diferentes tipos de hastes e alturas de queda do martelo. Portanto, para a análise apresentada a seguir, será considerado apenas o SP-2, que corresponde aos equipamentos sugeridos pela ABNT.

Comparando-se os resultados do SP-2 com a expressão de Decourt e Quaresma Filho (1991), $T=1,10 \cdot N$, para solo sedimentar, percebe-se uma grande discrepância, ratificando assim, Alonso (1994).

Por outro lado, se tomada como base a eq. (9), proposta por Alonso (1994) e utilizada a expressão de Ranzini (1994) para $h=45\text{cm}$, obtêm-se as seguintes expressões de fT para os solos de Ilha Solteira, Quadro 5.

Para finalizar o estudo da classificação dos solos em função das medidas de torque e índice de resistência, dois outros artigos são de grande importância. Alonso (1995), estudando a medida de torque para os solos da Baixada Santista, observou que as dispersões para os valores do atrito lateral medido (fT) conduziram novamente à conclusão de que a relação $fT \times N$ não é universal . Também Decourt (1996) observou a dificuldade de se caracterizar solos de comportamento laterítico, através da correlação $T \times N$.

QUADRO 4 - Valores de 6 sondagens *SPT-T* realizadas em Ilha Solteira com diferentes equipamentos por Menezes e Dall’Aglio Sobrinho (1994) e relações *T/N*

SONDAGEM (SP)	PROFUND. (m)	TIPO HASTE	ALTURA QUEDA (cm)	N	TORQUE (kgf*m)	T/N
SP-1	2	S-80	50	2	1,0	0,50
	4	S-80	50	2	1,0	0,50
	6	S-80	50	7	2,0	0,29
	8	S-80	50	6	1,5	0,25
	10	S-80	50	12	5,0	0,42
	12	S-80	50	9	4,0	0,44
	14	S-80	50	10	4,0	0,40
	16	S-80	50	11	5,0	0,45
SP-2	2	S-80	75	2	2,0	1,00
	4	S-80	75	3	1,5	0,50
	6	S-80	75	4	2,0	0,5
	8	S-80	75	4	1,5	0,38
	10	S-80	75	8	2,5	0,31
	12	S-80	75	8	3,5	0,48
	14	S-80	75	9	4,5	0,5
	16	S-80	75	9	4,5	0,5
SP-3	2	S-80	100	4	1,5	0,38
	4	S-80	100	4	2,5	0,63
	6	S-80	100	5	2,0	0,40
	8	S-80	100	6	2,5	0,42
	10	S-80	100	5	4,0	0,80
	12	S-80	100	8	5,5	0,69
	14	S-80	100	7	5,0	0,71
	16	S-80	100	7	5,0	0,71
SP-4	2	AW	50	2	1,5	0,75
	4	AW	50	3	3,5	1,17
	6	AW	50	8	4,5	0,56
	8	AW	50	8	5,0	0,63
	10	AW	50	12	5,5	0,45
	12	AW	50	15	11,5	0,76
	14	AW	50	14	7,5	0,54
	16	AW	50	14	7,0	0,50
SP-5	2	AW	75	2	0,5	0,25
	4	AW	75	3	2,5	0,83
	6	AW	75	4	3,0	0,75
	8	AW	75	5	4,5	0,90
	10	AW	75	6	6,0	1,00
	12	AW	75	11	10,5	0,95
	14	AW	75	10	9,0	0,90
	16	AW	75	10	8,0	0,80
SP-6	2	AW	100	2	1,5	0,75
	4	AW	100	2	2,0	1,00
	6	AW	100	2	2,0	1,00
	8	AW	100	4	2,5	0,63
	10	AW	100	5	4,0	0,80
	12	AW	100	8	7,0	0,88
	14	AW	100	8	6,0	0,75
	16	AW	100	7	6,0	0,86

S80 - correspondem às hastes de 3,23 kgf/m, diâmetro externo 32,8mm e diâmetro interno 25mm

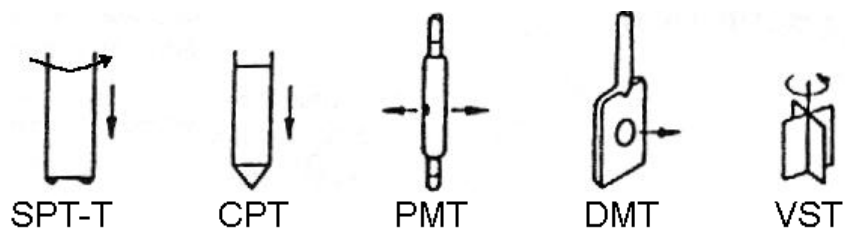
AW - correspondem às hastes de 5,16 kgf/m, diâmetro externo 41,2mm e diâmetro interno 28,5mm

QUADRO 5 - Expressões de fT (kgf.m) para a sondagem SP-2 de Ilha Solteira realizada por Menezes e Dall'Aglia Sobrinho (1994)

PROFUNDIDADE (m)	2	4	6	8	10	12	14	16
fT (h=45cm)	N/18	N/36	N/36	N/47	N/58	N/38	N/36	N/36

Além dos estudos sobre a caracterização do solo em função da relação T/N , Soares (1999) tentou correlacionar os parâmetros obtidos do ensaio $SPT-T$ com o módulo pressiométrico, E , e parâmetros de resistência, PL e σ_{H0} , obtidos do ensaio pressiométrico Ménard, PMT . Nenhum desses resultados apresentou correlação com os dados obtidos do ensaio $SPT-T$.

A não-correlação dos resultados obtidos através dos dois ensaios é melhor compreendida ao se observar a Figura 9 apresentada por Kulhawy (2000). Para esse autor, quando compara-se diretamente os dados obtidos de diferentes ensaios *in situ*, é provável que não se chegue a boas correlações porque estão envolvidos, não só diferentes modelos de ensaio, como também diversas condições limites no campo.



SPT-T = sondagem a percussão com medida de torque

CPT = cone de penetração

PMT = pressiômetro

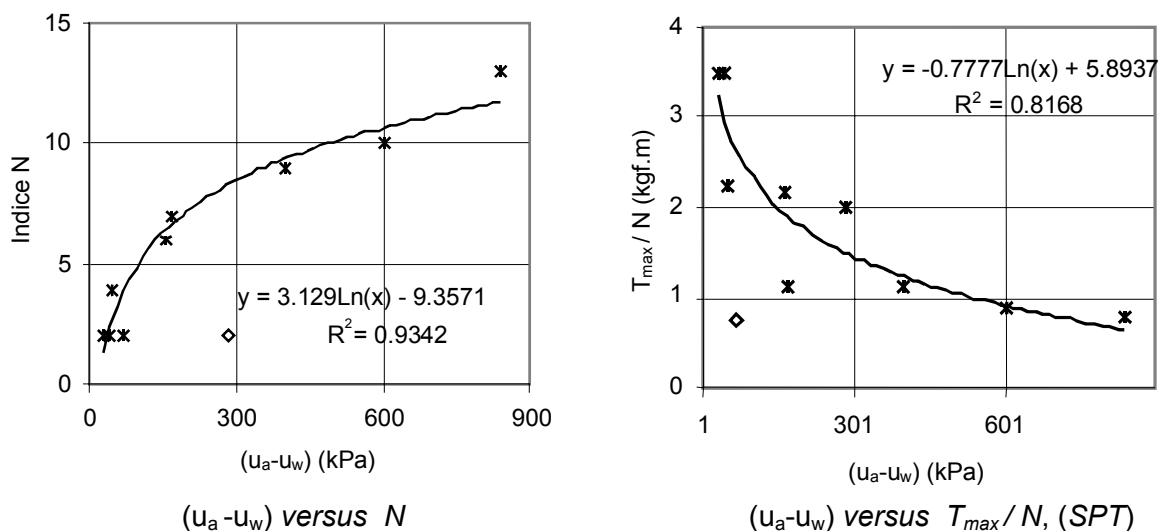
DMT = dilatômetro de Marchetti

VST = ensaio de palheta

FIGURA 9 - Ensaios de Campo *apud* Kulhawy (2000)

No Capítulo 8 está apresentada a correlação direta entre os dados obtidos através do CPT (cone elétrico) e aqueles obtidos através do $SPT-T$. Novamente será mostrada a dificuldade de se compararem os resultados obtidos de maneira distintas, através de diferentes ensaios.

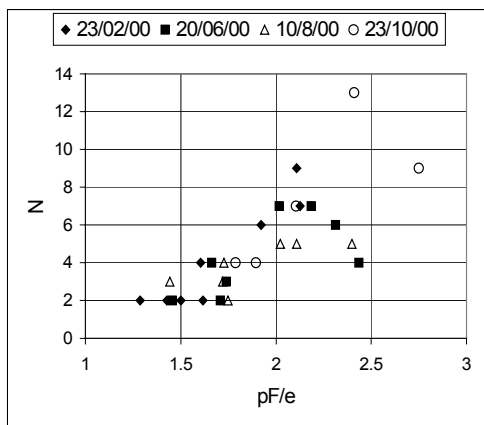
Outro estudo envolvendo a caracterização do solo em função do *SPT-T* foi realizado por Carvalho *et al* (2000) em três locais com solos de granulometrias diferentes, situados no Distrito Federal, Brasil. Os autores correlacionaram os resultados obtidos do ensaio *SPT-T*, com a sucção matricial, $(u_a - u_w)$, e observaram que a mesma possui uma melhor relação com índice de resistência, do que com o torque. Isto porque, segundo esses autores, o índice de resistência N , é obtido de uma cravação dinâmica num solo que está praticamente indeformado, enquanto que o torque é medido logo após a deformação causada pela cravação do amostrador. Mesmo assim, na Figura 10 observa-se que também existe uma certa tendência para a relação $T_{\max}/N$ em função da sucção.



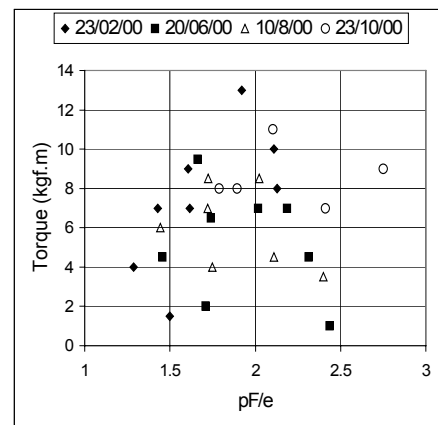
**FIGURA 10 - Relação entre a sucção e os resultados do *SPT-T* para o solo do Campo Experimental da Universidade de Brasília
apud Carvalho *et al* (2000)**

Em outro artigo, Carvalho *et al* (2001), compararam pF , que é o logaritmo da sucção em cm de coluna d'água, com os resultados do *SPT-T*. Os valores de pF foram obtidos tanto de amostras indeformadas, como de amostras deformadas.

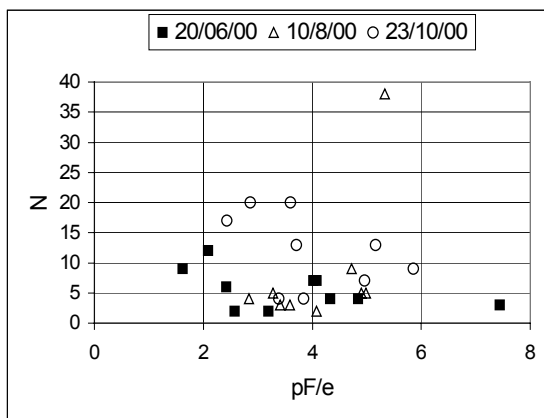
As relações de pF/e com o valor N , sendo e , o índice de vazios, foram melhor definidas para as amostras indeformadas, Figura 11 (a). Por outro lado, apesar de haver uma nuvem de pontos quando pF/e é comparado com os valores de torque, Figura 11(d), percebe-se que existe uma certa propensão do torque diminuir com o aumento de pF/e , para as amostras deformadas, quando cada furo é analisado separadamente.



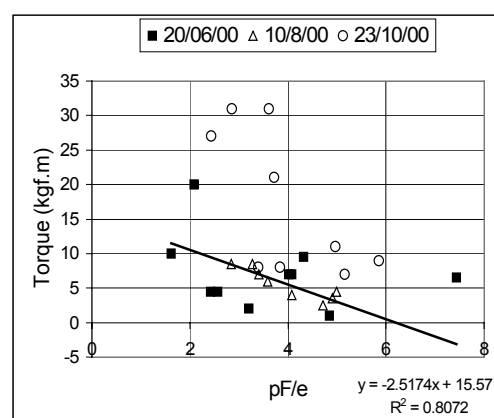
(a) Relação entre N e pF/e (indeformada)



(b) Relação entre T e pF/e (indeformada)



(c) Relação entre N e pF/e (deformada)



(d) Relação entre T e pF/e (deformada)

**FIGURA 11 - Relação entre pF/e e os resultados do SPT-T
apud Carvalho et al (2001)**

Este trabalho mostra que, tanto N , como T , são afetados pelo estado em que o solo não-saturado se encontra no momento do ensaio, embora os autores sugiram que é necessário avaliar-se até que ponto tais alterações seriam importantes para um dado projeto geotécnico.

3.3 – UTILIZAÇÃO DO *SPT* E DO *SPT-T* PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS

No Brasil, o ensaio mais utilizado para cálculo da previsão de capacidade-de-carga é o *Standard Penetration Test*, *SPT*.

Mello (1971), referindo-se a estacas cravadas e, baseado no fato de que tanto o amostrador como a estaca são cravados por processos dinâmicos, propôs que para estacas de madeira a equação deveria ter a seguinte forma:

$$P = K_1 * (d_1 * N_1) + K_2 * (d_2 * N_2) + K_n * (d_n * N_n) \dots \quad (12)$$

sendo	P	: resistência pontual
	$K_1, K_2 \dots$	: fatores que dependem do tipo de solo
	$d_1, d_2 \dots$	: incrementos de profundidade
	$N_1, N_2 \dots$	: número de golpes nos correspondentes incrementos de profundidade

Atualmente, existem métodos de cálculo de capacidade-de-carga que utilizam o *SPT*. Os mais difundidos no Brasil são o Método Aoki e Velloso(1975) e o Método Decourt e Quaresma (1978).

Mais recentemente, novos métodos têm sido sugeridos utilizando o valor do torque obtido no *SPT-T*, tais como: Decourt e Quaresma (1978) revisto em Decourt (1996); Alonso (1996a e 1996b); Carvalho *et al* (1998). Esses trabalhos estão detalhados no Capítulo 9, Previsão da Capacidade-de-Carga das Estacas através dos métodos já existentes utilizando-se *SPT-T*, para facilitar a compreensão dos cálculos lá apresentados.

O recente trabalho de Ranzini (2000) está aqui detalhado e as análises para a obtenção dos coeficientes empíricos sugeridos por esse autor constam do Capítulo 10, Novas Propostas para Cálculo da Capacidade-de-Carga de Estacas através do *SPT-T*.

Os trabalhos de Corrêa e Rocha (1998), Ferreira *et al* (1998) e Carvalho *et al* (1999) mostram a possibilidade de utilização do *SPT-T* para a previsão da capacidade-de-carga de estacas.

3.3.1 – Método Ranzini (2000)

Em março de 2000, S. M. T. Ranzini, ao proferir uma palestra no Instituto de Engenharia, São Paulo (SP), apresentou uma metodologia para cálculo de capacidade-de-carga de estacas a partir da medida do atrito lateral no *SPT-T*.

Os dados utilizados para esse estudo referiram-se àqueles que constaram de um encontro técnico sobre estacas Hélices-Contínuas , ocasião em que foi lançado o livro Estacas Hélices-Contínuas - A Experiência Atual (ABMS/ABEF, 1999). Entretanto, o autor sugeriu que a metodologia é possível de ser estendida a outros tipos de estacas.

O autor buscou o emprego exclusivo do fT , sem utilização do N e sem a descrição do tipo de solo:

$$fT = T / (41,3360 \cdot h - 0,0317) \quad (13)$$

em que: T é o torque aplicado às hastes, dado em (m.kgf)

h é a altura total de penetração do amostrador, em (cm)

fT é a tensão de atrito lateral obtida em (kPa)

Para a capacidade-de-carga de estacas é usual somarem-se as parcelas de atrito lateral e de ponta:

$$PR = PL + PP \quad (14)$$

em que: PR é a carga-de-ruptura ou capacidade-de-carga

PL é a parcela transmitida por atrito lateral

PP é a parcela transmitida pela ponta

Sendo:

$$PL = s\lambda * f\lambda * A\lambda \quad (15)$$

em que: $s\lambda$ é coeficiente empírico

$f\lambda$ é tensão de atrito lateral no fuste da estaca

$A\lambda$ é a área da superfície lateral, enterrada, da estaca

$$PP = sp * fp * Ap \quad (16)$$

em que: sp é coeficiente empírico

fp é tensão na ponta da estaca

Ap é a área da seção transversal da ponta da estaca

Para o cálculo da tensão de atrito lateral, f_l , considera-se que a mesma é inteiramente mobilizada quando se atinge um deslocamento de dez milímetros numa prova-de-carga. Sendo assim, Ranzini (2000) considerou mais lógica a utilização do atrito lateral medido pelo torque residual, expressão que reproduz uma condição similar ao deslizamento do fuste contra o solo.

$$f_l = \sum \Delta \lambda_i * f_i / \sum \Delta \lambda_i \quad (17)$$

em que: $\Delta \lambda_i$ é o comprimento do trecho elementar de ordem "i" do fuste;

f_i é a tensão de atrito lateral residual medida pelo torquímetro na altura do trecho elementar de ordem "i" do fuste.

A carga de ponta é considerada uma propriedade extensiva, em relação ao diâmetro da ponta da estaca. Numa prova-de-carga em estaca escavada de grande diâmetro, dificilmente se atingem deslocamentos suficientes para desenvolver a superfície de ruptura que, teoricamente, atingiria oito diâmetros para cima da base e três diâmetros para baixo, no interior do maciço.

Ranzini (2000) adotou, como critério, que a carga transmitida pela ponta seria calculada pelos valores de tensão do torque atuantes numa zona abrangendo uma altura de apenas um metro para cima e um metro para baixo da base, considerando, neste caso, os valores de torque máximo.

O autor supôs também, que o torque máximo correspondente à ponta da estaca teria uma predominância em relação àqueles medidos um metro acima e um metro abaixo, e adotou um peso 2 a esse valor.

$$f_p = (f_{i-1} + 2 * f_i + f_{i+1}) / 4 \quad (18)$$

em que:

f_i é tensão máxima obtida do torquímetro na cota da base

f_{i-1} é tensão máxima obtida do torquímetro um metro acima da cota da base

f_{i+1} é tensão máxima obtida do torquímetro um metro abaixo da cota da base

Ranzini (2000) sugeriu que este cálculo possa ser estendido para estacas de pequeno diâmetro, porque a superfície de ruptura é menor, devendo ficar contida dentro do intervalo de um metro acima e um metro abaixo da base da estaca.

A determinação dos valores dos coeficientes empíricos, s_λ e s_p , seria mais adequada se obtida através de provas-de-carga instrumentadas. Pelo fato dessa prática não ser usual, o autor estabeleceu tais coeficientes através de considerações ou critérios complementares.

Para o caso específico de estaca Hélice-Contínua, o autor admitiu que a movimentação do trado helicoidal durante a execução da estaca, deva criar uma condição semelhante à criada pela rotação do amostrador na interface com o solo, muito embora haja diferença entre a cravação do amostrador e a perfuração da

estaca, e então, sugeriu $s\lambda = 1$. Sendo assim, o sp teria o valor suficiente para tornar a soma das parcelas $PL + PP$ igual à carga-de-ruptura PP .

Para se obter a carga-de-ruptura através de provas-de-carga, o autor sugere que a capacidade-de-carga da estaca seria atingida quando o deslocamento vertical fosse de 10% a 15% superior de seu diâmetro.

Segundo Ranzini (2000), o gráfico apresentado por Van Weele (1982), Figura 12, permitiu o ajuste de três curvas que podem ser representadas por uma única equação, com um coeficiente numérico, a , e dois parâmetros, m e n :

$$r / D = a * (1 - (1 - (P / PR)^{(1/m)})^{(1/n)}) \quad (19)$$

Da qual se obtém:

$$PR = P / (1 - (1 - r / (a*D))^n)^m \quad (20)$$

Ou

$$PR = P * I \quad (21)$$

Sendo:

$$I = 1 / (1 - (1 - r / (a*D))^n)^m \quad (22)$$

Definida no intervalo : $0 \leq r / (a*D) \leq 1$

em que: r é o recalque correspondente à carga genérica P
 a é o coeficiente que fixa o recalque relativo ao limite
 n ; m são parâmetros de ajuste geométrico da curva
 PR é a carga-de-ruptura correspondente ao melhor ajuste da curva, expressão (20)

O autor sugeriu que o coeficiente a , o qual fixa o valor arbitrário do recalque relativo limite, e os dois parâmetros, m e n , que resultam do melhor

ajuste da curva $(P/PR)=f(r/D)$, devam ser obtidos para cada caso e para cada tipo de estaca, a partir de provas-de-carga, de preferência instrumentadas, e conduzidas até um carregamento que provoque um deslocamento suficiente para bem definir a curva "carga *versus* recalque", permitindo, desse modo, a avaliação da carga-de-ruptura PR relativa ao deslocamento-limite estabelecido.

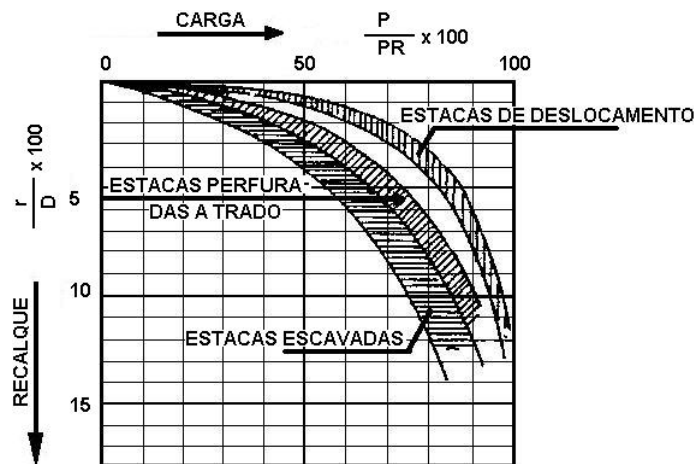


FIGURA 12 - Comportamento geral carga-recalque da base de estacas de diferentes tipos - Van Weele (1982) *apud* Ranzini (2000)

Para Ranzini (2000), a relação entre PP e PR de uma estaca pode ser estabelecida em função do comprimento relativo (L/D) e dos parâmetros com os quais essas grandezas são avaliadas neste trabalho.

$$PP / PR = f (L / D) \quad (23)$$

$$PP / PR = 1 - PL / (PL + PP) = 1 - 1 / (1 + PP / PL) \quad (24)$$

$$\text{Sendo: } PP = s_{\lambda} * f_{\lambda} * A_{\lambda} \quad \text{e} \quad PL = s_{\lambda} * f_{\lambda} * A_{\lambda}$$

Resulta, para estacas cilíndricas ou prismáticas: $A_{\lambda} / A_{\lambda} = D / (4 * L)$

$$PP / PL = sp * fp / ((4 * s\lambda * f\lambda) * (L / D)) \quad (25)$$

$$\text{Chamando } K = (sp * fp) / (4 * s\lambda * f\lambda)$$

$$PP / PL = K / (L/D) \quad (26)$$

E, portanto, $PP / PR = 1 - (1 / (1 + (PP / PL)))$, ou, ainda:

$$PP / PR = 1 - (1 / (1 + (K / (L / D)))) \quad (27)$$

Deste modo, é possível verificar que os valores extremos mais comuns estão no intervalo $2 < K < 30$.

No sistema de eixos $x = (L / D)$; $y = (PP / PR)$, a função acima é representada por um feixe de ramos de hipérboles que passam pelo ponto $(0 ; 1)$ tendo por assíntota o eixo variável independente (L / D) e por parâmetro o valor K , Quadro 6 e Figura 13.

Conhecido o valor de K , para um determinado caso, e o comprimento relativo (L/D) de uma estaca, é possível, através da função estabelecida, ter-se uma avaliação da parcela de carga que é transmitida por ponta, ou vice-versa.

QUADRO 6 - Relação entre PP e PR considerando dados de estacas Hélice-Contínua *apud* Ranzini (2000)

L / D	K =				
	2	4	8	15	30
	PP / PR				
0	1	1	1	1	1
2	0,5000	0,6667	0,8000	0,8824	0,9375
4	0,3333	0,5000	0,6667	0,7895	0,8824
8	0,2000	0,3333	0,5000	0,6522	0,7895
15	0,1176	0,2105	0,3478	0,5000	0,6667
30	0,0625	0,1176	0,2105	0,3333	0,5000
60	0,0323	0,0625	0,1176	0,2000	0,3333

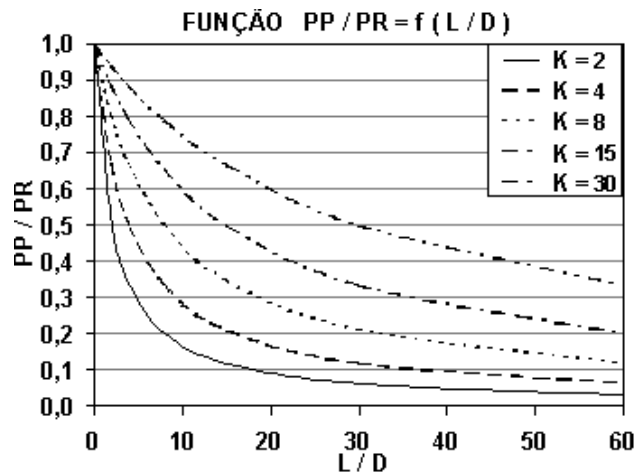


FIGURA 13 - Determinação do parâmetro K apud Ranzini (2000)

3.3.2 – Método Decourt e Quaresma (1978) e revisto em Decourt *in* Hachich *et al*/(1996)

Esses autores apresentaram um método de avaliação de capacidade-de-carga em função do *SPT* e mais recentemente o adequaram ao *SPT-T*. Assim, os valores de N podem tanto corresponder ao N tradicional, como ao N_{eq} obtido do *SPT-T*.

Para o N tradicional, Decourt e Quaresma (1978) consideraram a ruptura de estacas, Q_u , aquela cuja carga corresponde a um deslocamento no topo da estaca, de 10% do seu diâmetro para solos argilosos e de 30% do diâmetro para solos arenosos. As equações propostas por este método são:

$$Q_u = \alpha * q_p * A_p + \beta * q\lambda * A_\lambda \quad (28)$$

Em que α e β coeficientes sugeridos para diversos tipos de estacas e seus valores estão apresentados em Quadros que constam do Capítulo 9.

3.3.3 – Alonso (1996a e 1996b)

Alonso (1996a) apresentou expressões para se prever a adesão-atrito de vários tipos de estacas através do atrito lateral obtido do *SPT-T*, sugerindo que a parcela da ponta fosse calculada de acordo com Decourt e Quaresma (1978). Em outro artigo, Alonso (1996b) apresentou uma metodologia para Capacidade-de-carga de Estacas Hélices-Contínuas, na qual o autor sugere a utilização do torque tanto para a parcela de atrito lateral, como para a parcela da ponta.

3.3.4 – Carvalho *et al* (1998)

Carvalho *et al*(1998) analisaram resultados de sondagens realizadas segundo a NB-6484 (1980) e com avanço através de cravação direta do amostrador de bico grosso, sendo esse procedimento prática comum no Distrito Federal. Comparam a adesão-atrito obtida da equação de Ranzini com os métodos Aoki e Velloso (1975) e Decourt e Quaresma (1978). Sugeriram, para os solos porosos daquela região, que o dimensionamento de estacas podia ser feito através da expressão (29).

$$PR = PP + (U * L * f_T * \alpha_T) \quad (29)$$

sendo PP : parcela de ponta calculada segundo Aoki e Velloso (1975) ou Decourt e Quaresma (1978) considerando os coeficientes propostos por Rodrigues *et al* (1998)

U : perímetro transversal da estaca

L : comprimento da estaca

f_T : adesão média ao longo do comprimento da estaca

α_T : coeficientes para cálculo da parcela lateral

3.3.5 – Corrêa e Rocha (1998)

Corrêa e Rocha (1998) relataram 3 estacas nas quais a adesão-atrito média, calculada segundo Ranzini (1994), foi comparada ao atrito lateral de estacas Pré-Moldadas obtido pelos métodos de Aoki e Velloso (1975) e Decourt e Quaresma (1978) e Velloso (1981), e também pela análise CAPWAP feita nos ensaios dinâmicos (PDA). Uma das estacas está localizada na região de Campinas, cujo solo é sedimentar e bastante homogêneo, e as outras duas na Zona Leste de São Paulo, com um solo composto de uma camada superficial de aterro sobre 3 ou 4 metros de aluvião seguidos de solo residual.

Os autores concluíram que a adesão-atrito obtida da equação de Ranzini (1994) é a que melhor se relaciona com o atrito lateral de estacas e apontaram para os seguintes fatores que poderiam influir na validade desse método:

- A formação geológica;
- A forma e dimensão da estaca. Estacas de pequeno diâmetro, no caso 20cm, obtiveram resultados mais próximos;

- Homogeneidade do solo e sua isotropia. O torque medido refere-se à seção radial do amostrador, sendo que a resistência lateral da estaca medida em provas-de-carga é no sentido longitudinal.

3.3.6 – Ferreira *et al* (1998)

Ferreira *et al* (1998) estudaram estacas Apiloadas e apresentaram correlações entre os resultados de ensaios *SPT-T*, *CPT* (cone com ponteira mecânica do tipo cone-atrito - Luva Begemann) e atrito estaca-solo, medidas em provas-de-carga à compressão realizadas no Campo Experimental de fundações da FET - Unesp - Bauru. As provas-de-carga foram executadas em 3 estacas, E01, E02 e E03, diâmetro de 25cm e profundidades de 7m, 4m e 10m.

Os autores consideraram a adesão amostrador-solo obtida da equação de Ranzini (1994), fT , o atrito lateral local do *CPT*, fs , e o atrito médio obtido das provas-de-carga, qs . O Quadro 7 fornece esses valores médios, resultando nas expressões (30) a (32).

$$qs = 0,68 * fs \quad (30)$$

$$qs = 1,23 * fT \quad (31)$$

$$fT = 0,55 * fs \quad (32)$$

Da expressão (30) obteve-se $fs/qs = 1,47$. Os autores compararam esse valor ao fator $F2$ de Aoki e Velloso (1998) para estacas de deslocamento (tipo

Franki, Metálica ou Pré-Moldada) , constatando que esse valor estaria bem abaixo dos propostos.

Por outro lado, considerando a nova correlação proposta por Aoki (1996) para estacas de pequeno diâmetro, $F2=1+d/80$ e $F1=F2/2$, para estaca Apiloadada em questão, $F2$ seria 1,31 e $F1$ igual a 0,66 obtendo-se assim uma boa concordância com o Método de Aoki e Velloso (1975).

QUADRO 7 - Valores de fT , fs e qs apud Ferreira et al (1998)

Ensaio		SPT-T	CPT	Prova-de-carga
Estaca	L (m)	fT (kPa)	fs (kPa)	qs (kPa)
E 02	4,0	16,0	35,5	28,5
E 01	7,0	22,9	37,5	28,0
E 03	10,0	31,0	53,1	29,3
Médias		23,3	42,0	28,6

3.3.7 – Carvalho et al/(1999)

Carvalho et al (1999) comparam os valores da adesão-atrito solo-amostrador, fT , o atrito lateral local, fc , obtido do CPT (equipamento mecânico), e observaram que existe uma grande variabilidade dos resultados, corroborando Kulhawy (2000).

Por outro lado, quando esses mesmos autores compararam fT e fc com os atritos laterais de estacas obtidos através de provas-de-carga instrumentadas, concluíram que a adesão, obtida através da medida do torque no SPT, conduz a resultados mais próximos à tensão de atrito lateral média dessas estacas. Os dados analisados foram obtidos dos Campos Experimentais da Escola de

Engenharia de São Carlos (USP), da Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira (Unesp), Faculdade de Engenharia Civil de Bauru (Unesp) e Faculdade de Engenharia Agrícola (Unicamp). Os resultados dessas análises estão apresentados no Quadro 8.

QUADRO 8 - Relação entre os valores médios de $\bar{f}_T$ (SPT-T), $\bar{f}_c$ (CPT) com q_s (prova-de-carga instrumentada)

Campos Experimentais	Estacas	$\bar{f}_T/q_s$	$\bar{f}_c/q_s$
EESC - USP	Escavada ($\phi=0,35\text{m}$ e $L=9,1\text{m}$)	1,35	2,29
	Escavada ($\phi=0,40\text{m}$ e $L=9,1\text{m}$)	2,26	5,61
	Escavada ($\phi=0,50\text{m}$ e $L=9,1\text{m}$)	1,31	3,26
FEAGRI - Unicamp	Pré-Moldada ($\phi=0,18\text{m}$ e $L=12,5\text{m}$)	1,24	4,21
Unesp – Ilha Solteira	Pré-Moldada ($\phi=0,17*0,17\text{m}$ e $L=12,5\text{m}$)	1,49	8,08
Unesp - Bauru	Apiloadada ($\phi=0,25\text{m}$ e $L=3,5\text{m}$)	0,34	1,07
	Apiloadada ($\phi=0,25\text{m}$ e $L=6,5\text{m}$)	0,58	1,47
	Apiloadada ($\phi=0,25\text{m}$ e $L=9,5\text{m}$)	0,65	1,67

3.4 – CONCLUSÕES GERAIS

Através do número de artigos publicados nos últimos anos fica claro o interesse da comunidade geotécnica na utilização do ensaio *SPT-T* tanto para caracterização de solos, como para sua aplicação na previsão de capacidade-de-carga de estacas.

Também pode-se afirmar que, para as duas aplicações, é necessário um número maior de pesquisas (ou dados) para a obtenção de análises mais conclusivas. Portanto, baseados neste fato, seguem os estudos dos próximos capítulos.

4. TORQUÍMETRO ELÉTRICO, MEDIDA DO ÂNGULO-DE-ROTAÇÃO E EXECUÇÃO DOS ENSAIOS *SPT-T*

4.1 – TORQUÍMETRO ELÉTRICO

Através do desenvolvimento do torquímetro elétrico com sistema de aquisição automática de dados, tornou-se possível a obtenção da curva torque *versus* ângulo-de-rotação durante o ensaio, permitindo-se a medida mais precisa do valor do torque máximo e uma melhor análise do torque residual.

Cada torquímetro elétrico foi feito, basicamente, de uma célula de carga construída em aço, projetada para medir torção, constituindo-se, a parte elétrica, de extensômetros elétricos de resistência do tipo "espinha de peixe", ligados em ponte completa. Foram construídos torquímetros com capacidade de 20kgf.m e 50kgf.m.

As Figuras 14 e 15 apresentam detalhes da parte elétrica e geométrica, dos torquímetros com capacidade máxima de 20kgf.m e 50 kgf.m, respectivamente. Para se evitar qualquer dano à parte elétrica, durante os ensaios, projetou-se uma proteção mecânica externa, em aço, para cada torquímetro elétrico, Figura 16.

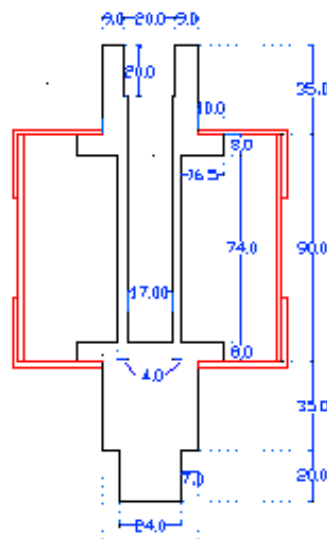


FIGURA 14 - Torquímetro elétrico com capacidade máxima de 20 kgf.m

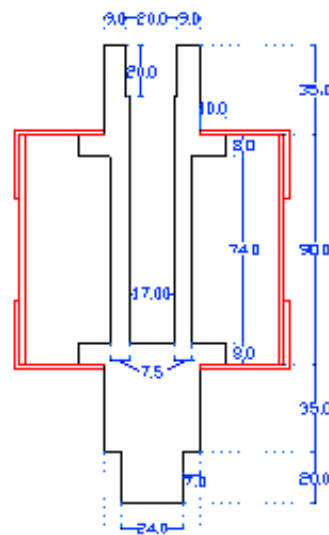


FIGURA 15 - Torquímetro elétrico com capacidade máxima de 50 kgf.m



FIGURA 16 - Sistema de proteção dos torquímetros

4.1.1 – Sistema de Aquisição de dados

Depois de terminadas as etapas mecânica e elétrica, o torquímetro foi ligado a um Conversor A/D para transformar o sinal analógico em digital. O sistema utilizado foi o da série ADS-2000 da Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda., o qual é composto de: gabinete; controlador AC 2120, que é o elemento principal do sistema, realizando todas as tarefas de comunicação com o computador, leitura e controle de placas condicionadas; condicionador AI 2160, com 16 canais, responsável pela ampliação e filtragem do sinal de entrada. Figura 17.

Este sinal digital é então analisado no microcomputador através do programa *AqDados* que é um aplicativo para aquisição de dados desenvolvido pelo mesmo fabricante do conversor. Suas principais características são:

- frequência de amostragem programável entre 0,1Hz e 10kHz;
- duração do ensaio programável; apresentação de até 8 sinais simultaneamente, na tela, durante a aquisição em modo gráfico;

- visualização gráfica dos dados, permitindo a obtenção da curva torque *versus* ângulo-de-rotação logo após o término do ensaio;
- exportação dos dados em formato texto.



FIGURA 17 - Sistema de Aquisição de Dados

4.1.2 – Calibração do Torquímetro Elétrico

Os torquímetros foram calibrados com o equipamento de aquisição de dados o qual fora utilizado nos ensaios de campo. O torque foi aplicado através de um equipamento construído para este fim, com um sistema de rolamentos o qual garantiu que o torque aplicado em uma extremidade não sofresse perdas até atingir o torquímetro, Figura 18. Apresenta-se na Figura 19 curva de calibração obtida para um torquímetro com capacidade 20kgf.m.

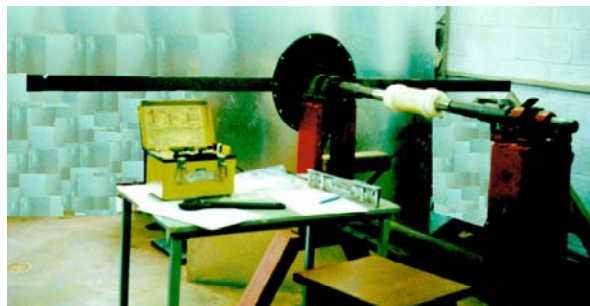


FIGURA 18 - Equipamento de Calibração

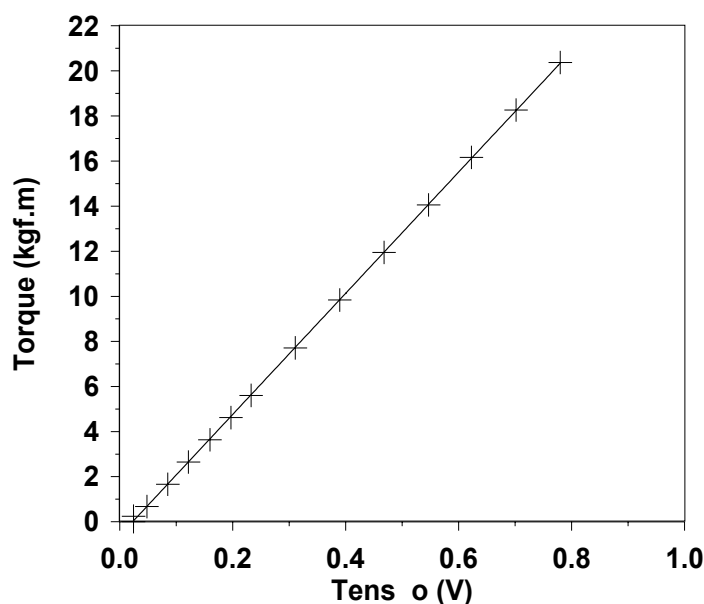


FIGURA 19 - Curvas de calibração para o torquímetro com capacidade máxima de 20kgf.m

Após a calibração inicial dos torquímetros, foram feitas aferições durante a fase de execução dos ensaios. Também foram feitas séries de calibrações a diferentes temperaturas, em sala com ambiente controlado, variando entre 15 e 35°C, e verificou-se a não-influência desse fator .

4.2 – SISTEMA DE LEITURA DO ÂNGULO-DE-ROTAÇÃO

A leitura do ângulo-de-rotação foi feita através de um potenciômetro, o qual foi encaixado no torquímetro analógico e travado a um sistema externo como apresentado na Figura 20a.

O potenciômetro utilizado foi da marca Beckman, 3591-10k, tipo fácil de ser encontrado no mercado, que funciona como um botão de rádio e permite no

máximo 10 voltas. Na Figura 20b está apresentado o sistema de proteção e o encaixe do potenciômetro no torquímetro.

Na Figura 20c observa-se o sistema de ajuste fino para manter o potenciômetro nivelado, evitando assim, a torção e possível danificação do equipamento.

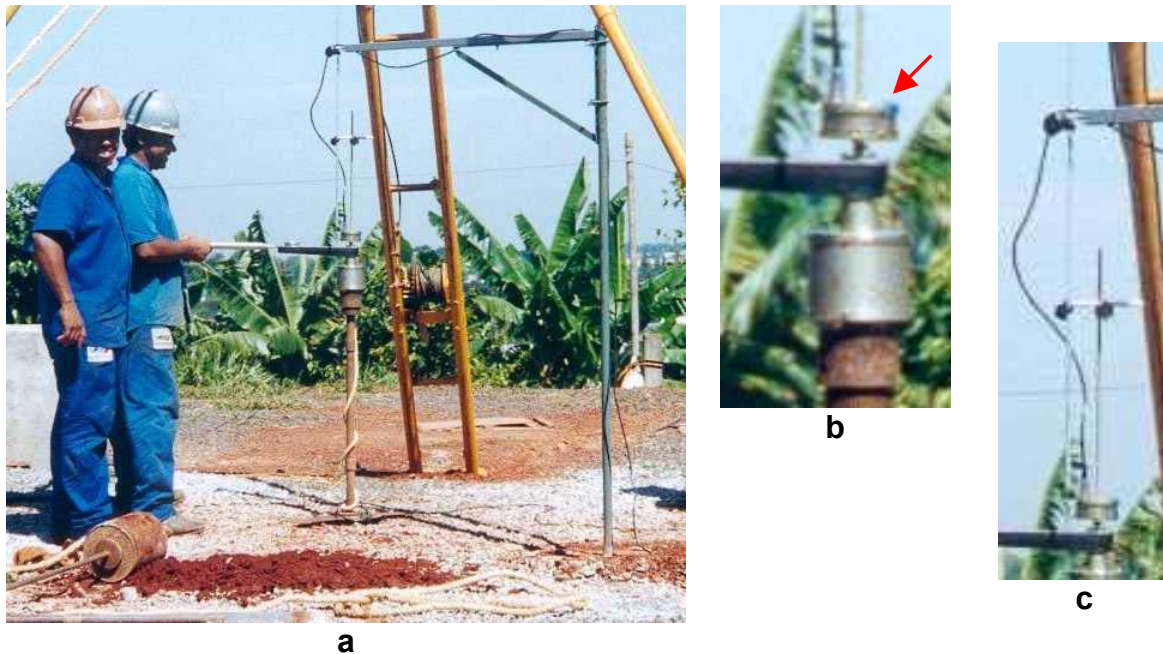


FIGURA 20 - Sistema de travamento do potenciômetro

O equipamento também foi calibrado através do próprio aquisitor de dados, montando-se para a calibração, um medidor de ângulos, Figura 21. Apresenta-se na Figura 22 a curva de calibração tensão *versus* ângulo-de-rotação. A precisão do equipamento mostrou-se satisfatória. A aferição da calibração do potenciômetro foi realizada constantemente durante a execução dos ensaios.

O potenciômetro foi ligado, através de cabo, diretamente ao sistema de aquisição de dados, fornecendo assim, os valores dos ângulos de rotação.



FIGURA 21 - Sistema de calibração do potenciômetro

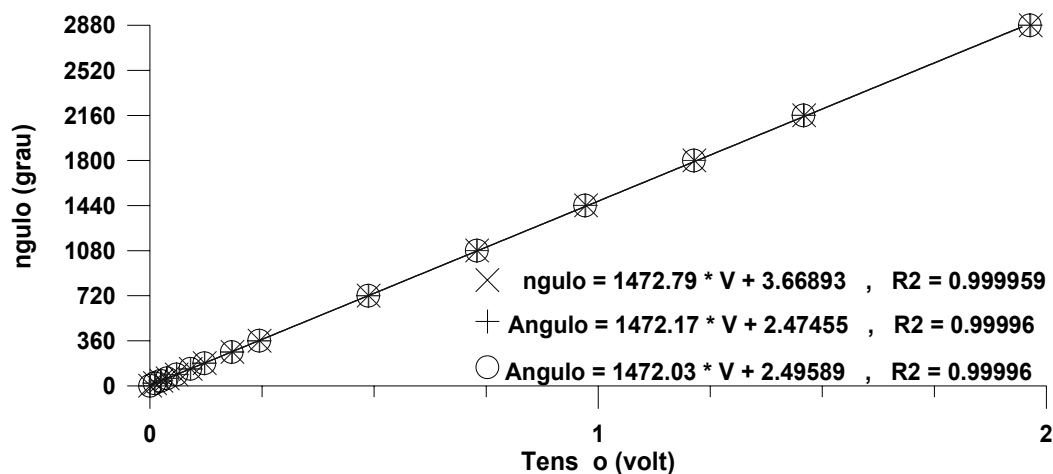


FIGURA 22 - Curvas de calibração de um potenciômetro

4.3 – EXECUÇÃO DO ENSAIO

Os ensaios SPT foram realizados segundo a ABNT-NBR-6484 (1980), com pequenas adaptações para a realização do torque e acoplamento dos equipamentos visando a obtenção da curva torque *versus* ângulo-de-rotação.

Para evitar a torção das hastes, foram utilizados dois tipos diferentes de discos-centralizadores: um que foi adaptado ao tubo de revestimento durante o processo de perfuração por lavagem, Figura 23, e outro que foi fixado ao chão por um sistema de abas, quando da perfuração a trado, já apresentado na Figura 20. Em ambos os equipamentos tomou-se o cuidado para que o contato entre o disco-centralizador e a haste fosse o menor possível, evitando-se, assim, um possível atrito entre ambos.



FIGURA 23 - Disco-centralizador utilizado no sistema de lavagem

Atentou-se também para a formação de uma composição de hastes a fim de que a altura do torquímetro, ao final da realização do ensaio SPT, ficasse na posição do cotovelo do operador para que o mesmo pudesse posicionar o torquímetro na horizontal com facilidade, evitando-se também uma possível torção, item 1 da Figura 24.

O furo central da cabeça-de-bater passou a ser quadrado, Figura 25, permitindo dessa maneira o encaixe do torquímetro sem que houvesse

necessidade de retirada da mesma, evitando-se dessa forma, uma possível torção durante a manobra, o que poderia modificar o resultado do ensaio, item 2 da Figura 24.

A célula de carga do torquímetro elétrico foi projetada de maneira a permitir um perfeito encaixe do torquímetro analógico sobre a mesma. Para essa pesquisa foram utilizados três torquímetros da Gedore para capacidades máximas e mínimas de 6-27kgf.m (R200), 10-48kgf.m (R350) e 17-83kgf.m (R600), respectivamente, pois, especial atenção deve ser dada à capacidade dos torquímetros, antes de sua utilização, para que não seja ultrapassada sua capacidade máxima, causando, como consequência, danos ao equipamento, como também não devem ser utilizados equipamentos de capacidade mínima maior que a leitura esperada, o que certamente afetaria sua precisão.



- 1- Niple cujo comprimento regula a altura do torquímetro analógico para que fique na elevação do cotovelo do operador.
- 2- Cabeça de bater projetada de maneira a possibilitar a utilização do torquímetro sem a retirada da mesma.
- 3- Torquímetro elétrico com proteção.
- 4- Torquímetro analógico.
- 5- Medidor de ângulo com proteção.
- 6- Cabo que liga o medidor de ângulo ao sistema de aquisição de dados.
- 7- Cabo que liga o torquímetro ao sistema de aquisição de dados.
- 8- Sistema de fixação do medidor de ângulo.

FIGURA 24 - Sistema do ensaio com torquímetro elétrico e medidor de ângulo



FIGURA 25 - Cabeça-de-bater modificada

Tanto o torquímetro elétrico, quanto o potenciômetro ficaram acoplados a uma proteção de aço especialmente projetada para a perfeita adaptação dos equipamentos ao torquímetro analógico, itens 3, 4 e 5 da Figura 24.

O sistema de cabos foi projetado de maneira a não interferir no movimento de rotação do operador. O cabo que liga o torquímetro elétrico ao sistema de aquisição de dados é composto de uma parte espiral que fica enrolada na haste, no sentido contrário ao da rotação do operador. Na altura do disco-centralizador, esse cabo é conectado a um outro, mais resistente, que é ligado, por sua vez, ao sistema de aquisição de dados. A Figura 24 apresenta um momento da realização do ensaio em campo. O cabo que liga o potenciômetro ao sistema de aquisição de dados não sofre torção pois é preso ao sistema de fixação do potenciômetro. Itens 6 e 7 da Figura 24.

O sistema de travamento do potenciômetro foi projetado com uma determinada altura a fim de que não atrapalhasse a rotação do operador e ao mesmo tempo apresentasse mobilidade para ficar perfeitamente encaixado no potenciômetro, pois a altura do mesmo se modificava em razão da penetração do amostrador no ensaio SPT. O sistema tem de ser alinhado em relação à vertical antes de cada rotação.

Todos os ensaios foram realizados com o mesmo equipamento e mesma equipe de sondagem. Todos os equipamentos foram adaptados e testados antes do início da realização dos ensaios nos Campos Experimentais, sempre se tomando o cuidado de não afetar o ensaio *SPT* original e também de tornar a execução o mais simples possível para não atrapalhar os operadores, procedimento que auxiliou o ensaio a não se tornar de difícil execução. Calibrações periódicas foram realizadas entre a execução em um Campo Experimental e outro.

As leituras do torque através do torquímetro analógico e elétrico foram realizadas simultaneamente, possibilitando assim a comparação dos resultados.

Assim, terminada a contagem do número de golpes da sondagem, colocava-se um adaptador, o torquímetro elétrico, e, acoplado a este, o torquímetro analógico. Prosseguia-se o ensaio aplicando-se um momento de torção ao conjunto haste-amostrador e media-se o torque máximo necessário para romper a adesão solo-amostrador, $T_{m\acute{a}x}$. Então, sem interrupção, continuava-se a rotação até completar cinco voltas, obtendo-se assim, uma visão do comportamento da curva.

Através do sistema de aquisição de dados, obtém-se diretamente a curva torque (kgf.m) *versus* ângulo-de-rotação (graus). Figura 26.

Verificou-se que as oscilações observadas na curva correspondem exatamente ao número de passos do operador durante a execução da rotação do torquímetro.

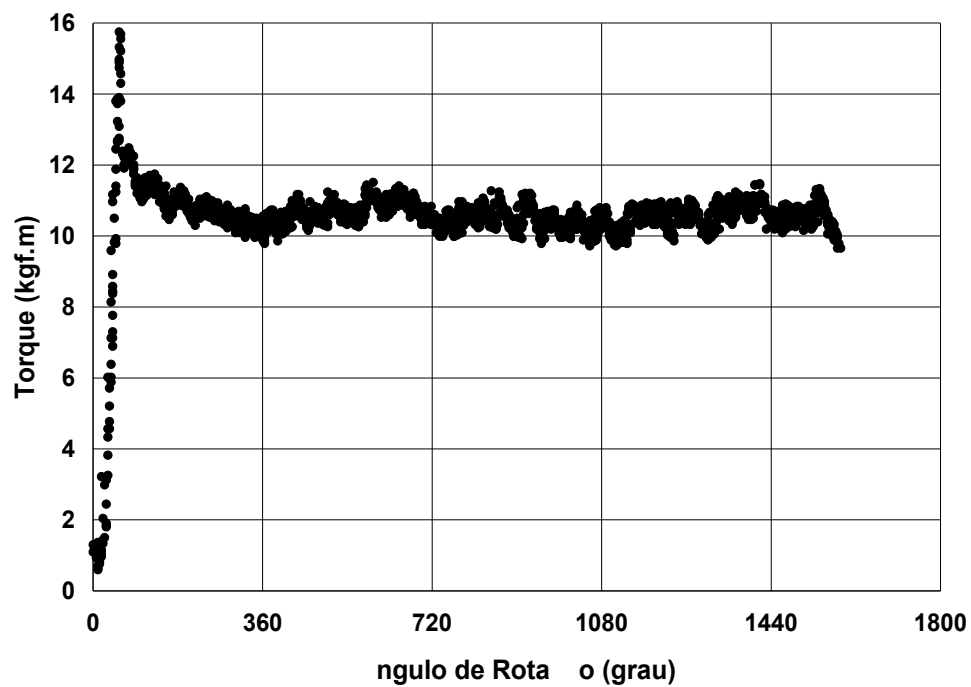


FIGURA 26 - Curva torque (kgf.m) *versus* ângulo-de-rotação (graus) do Campo Experimental da UFLA

5. CAMPOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS DE *SPT-T*

Foram realizados ensaios *SPT-T* em seis Campos Experimentais de Fundações e um local na Baixada Santista.

Esse capítulo apresenta a caracterização geológico-geotécnica dos sete locais e os resultados dos ensaios *SPT-T*.

5.1 – CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – UNICAMP – CAMPINAS (SP)

O Campo Experimental da Feagri – Unicamp está situado ao lado do Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia Agrícola. Esta área está reservada para pesquisas de Mecânica dos Solos e Fundações e até o momento possui dois poços de inspeção para retirada de amostras indeformadas, ensaios *in*

situ SPT-T, CPT (ponteira elétrica do tipo cone-atrito), ensaios de caracterização, ensaios de parâmetros de resistência e compressibilidade, além de provas-de-carga instrumentadas em estacas Pré-Moldadas, Hélices-Contínuas, Ômega e Escavadas.

5.1.1 – Caracterização Geológica

A geologia da região é composta de rochas intrusivas básicas de Formação Serra Geral e a rocha predominante no local é o Diabásio.

5.1.2 – Caracterização Geotécnica

O perfil geotécnico do Campo Experimental da Feagri-Unicamp é composto basicamente de uma primeira camada de seis a sete metros de argila-arenosa, de alta porosidade e, logo abaixo, de solo residual de Diabásio. O nível d'água varia entre 12,80 e 15,30 metros de profundidade.

Os ensaios laboratoriais foram realizados por Albuquerque (1996), Monacci (1995) e Giacheti (1991) . Os resultados desses ensaios, apresentados a seguir, foram obtidos de amostras retiradas de dois poços cujas cotas estão 1,5 metros superior à atual elevação do Campo Experimental, conforme Figura 27.

– *Ensaio de Caracterização*

Os resultados dos ensaios de caracterização, limites de consistência e granulometria, encontram-se no Quadro 9.

QUADRO 9 - Resultados do Ensaio de Caracterização para a Feagri - Unicamp

Profundidade (m)	Limites de Consistência		Granulometria			
	<i>LL</i> (%)	<i>LP</i> (%)	argila (%)	silte (%)	areia m. (%)	areia f. (%)
0,50 a 0,75	52	35	63	10	21	06
2	52	38	65	07	22	03
3	51	36	67	08	20	06
4	52	37	61	13	21	05
5	49	37	60	15	21	05
6	58	41	44	25	30	04
7	62	43	45	30	22	03
8	66	47	39	33	25	03
9	69	48	36	36	25	03
10	73	49	35	36	27	02
11	68	50	32	39	26	03
12	70	46	29	40	28	03
13	71	46	28	43	27	02
14	64	43	26	40	31	03
15	61	41	26	40	32	02
16	63	39	27	44	28	01
17	74	38	28	39	32	01
18	-	-	28	37	35	00
19	-	-	32	34	34	00
20	-	-	30	39	30	01

– *Índices Físicos*

Os resultados dos ensaios para obtenção de índices físicos estão apresentados no Quadro 10 no qual γ_{nat} é o peso específico natural, γ_s , peso

específico dos sólidos, γ_d , peso específico do solo seco, w , teor-de-umidade, e , índice de vazios, e n , a porosidade.

QUADRO 10 - Valores de Índices Físicos para a Feagri - Unicamp

Profundidade (m)	γ_{nat} (kN/m³)	γ_s (kN/m³)	γ_d (kN/m³)	w (%)	e	n (%)
1	13,4	29,7	10,7	24,3	1,77	63,8
2	13,0	29,1	10,6	23,4	1,76	63,7
3	13,0	29,5	10,6	22,8	1,79	64,1
4	13,0	30,1	10,5	23,7	1,86	65,0
6	15,4	30,1	12,4	24,6	1,44	59,0
7	15,4	29,1	12,2	26,3	1,40	58,2
8	14,8	29,5	11,5	28,1	1,56	60,1
9	15,0	30,1	11,6	29,9	1,60	61,5
10	15,1	30,1	11,6	30,5	1,60	61,6
12	16,1	29,6	12,0	33,8	1,46	59,4
14	16,4	30,6	12,3	32,8	1,48	59,7
16	16,7	30,1	12,0	39,2	1,51	60,1

– Parâmetros de Resistência

Os parâmetros de resistência estão apresentados no Quadro 11 sendo c , coesão e ϕ , ângulo de atrito, ambos referentes a tensões totais e retirados de ensaios triaxiais adensados-rápidos. O parâmetro R_c é a resistência à compressão simples, obtida do ensaio de compressão simples. Os resultados até a profundidade de 9 metros foram obtidos de Giacheti(1991) e aqueles correspondentes a 10, 12, 14 e 16 metros foram obtidos por Albuquerque(1996).

- Parâmetros de Compressibilidade

Giacheti (1991) realizou ensaios de adensamento com carregamento incremental e, das curvas de adensamento obtidas, foram determinados e_0 , índice de vazios inicial, C_c , índice de compressão, σ'_{ad} , tensão de pre-adensamento pelo método Pacheco Silva, σ'_v , tensão normal efetiva, e , OCR , razão de sobre-adensamento, Quadro 12.

QUADRO 11 - Parâmetros de Resistência para a Feagri - Unicamp

Profundidade (m)	c (kPa)	ϕ (°)	Rc (kPa)
1	5	31,5	26,2
2	11	31,5	48,0
3	2	30,5	40,7
4	0	26,5	11,2
6	18	18,5	54,1
7	31	22,5	76,1
8	18	22,5	59,7
9	64	14,5	50,6
10	78	22,8	67,0
12	87	18,3	145,1
14	76	19,1	185,4
16	55	22,0	218,7

QUADRO 12 - Parâmetros de Compressibilidade para a Feagri - Unicamp

Profundidade (m)	$\sigma'_{vmédio}$ (kPa)	e_0	C_c	σ'_{ad}	OCR
0,95	13	1,765	0,62	52	4,0
2,10	30	1,758	0,60	130	4,3
3,20	44	1,788	0,58	198	4,5
4,50	61	1,855	0,60	91	1,5
7,85	110	1,556	0,65	120	1,1
8,90	127	1,597	0,60	140	1,1

- Colapsibilidade

As características de colapsibilidade do subsolo do Campo Experimental foram estudadas por Monacci (1995). Foi utilizado o critério proposto por Vargas (1978), que define solos como colapsíveis quando o coeficiente de colapso estrutural, i , for maior que 2%, sendo que " i " é definido pela seguinte equação:

$$i = \frac{\Delta e_c}{1 + e_i} \quad (33)$$

em que: Δe_c : variação do índice de vazios devido ao colapso da estrutura do solo;

e_i : índice de vazios antes da inundação

Os índices de colapso nas profundidades 0,75m, 5,00m e 8,00m, obtidos de ensaios oedométricos simples, estão apresentados no Quadro 13. Observa-se que a colapsibilidade, na camada de solo poroso, diminui em função da profundidade.

QUADRO 13 - Coeficiente Colapso Estrutural do subsolo da Feagri - Unicamp

Profundidade 0,75m		Profundidade 5,00m		Profundidade 8,00m	
σ (kPa)	i (%)	σ (kPa)	i (%)	σ (kPa)	i (%)
5,00	4,97	-	-	-	-
9,80	11,09	9,80	2,41	-	-
19,40	7,40	19,40	3,76	-	-
29,10	9,20	-	-	-	-
38,70	9,98	38,70	7,72	38,70	3,10
77,30	23,19	77,30	15,51	77,30	5,26

5.1.3 – Resultados dos Ensaio *SPT-T*

Inicialmente foram executados quatro furos de sondagem, entre os dias 30/03/99 e 09/04/99, perfazendo-se um total de 89,57 metros. Tanto neste Campo Experimental, como nos demais, as profundidades das sondagens variaram em função da geologia local, da disponibilidade financeira, procurando-se respeitar sempre a profundidade de pelo menos dois metros abaixo da ponta da estaca mais próxima do furo de sondagem.

Neste Campo Experimental as estacas a serem ensaiadas (Hélice-Contínua, Escavada e Ômega) possuem profundidade de 12 metros e as estacas de reação têm 16 metros. Os furos de sondagem SP01, SP02 e SP03, próximos a estas fundações, foram executados até 21,39 , 27,45 e 20,45 metros respectivamente. O furo próximo à estaca Pré-Moldada (cravada até 14 metros) foi levado até o impenetrável, o que ocorreu a 20,28 metros de profundidade, medida essa menor do que as anteriores. Fica assim evidenciada a heterogeneidade na camada de solo de alteração de rocha.

A localização dos furos de sondagem em função das fundações executadas estão apresentadas na Figura 27.

As sondagens SP 05 e SP 06 foram executadas, em uma segunda etapa, no mês de julho. Esses furos foram executados com o objetivo de se estudar a recuperação da estrutura do solo em função do torque e, também, para a obtenção da eficiência do equipamento, segundo metodologia de Belincanta (1998).

No SP 05, o amostrador foi deixado cravado a 5 metros de profundidade na camada de argila arenosa porosa, e no furo SP 06, a 15 metros, camada de solo de alteração de rocha. Foram feitas leituras periódicas dos torques máximo e residual nas respectivas profundidades por 15 dias e para cada medida também foi obtida a curva torque *versus* ângulo-de-rotação. Observou-se que a recuperação das amostras é diferente para solos geologicamente diferentes e o SPT-T pode ser uma ferramenta para a realização desse tipo de estudo. Estas medidas também foram feitas em Bauru, Ilha Solteira, São Paulo e Baixada Santista.

Na execução do furo de sondagem SP 06, fez-se a leitura da energia do equipamento de sondagem o qual apresentou uma eficiência média de 73%, utilizando-se aparelhagem e metodologia em acordo com Belincanta (1998).

As classificações tátil-visuais dos furos de sondagem encontram-se na Figura 28.

Apresentam-se, no Quadro 14, os valores de índice de resistência, N , no Quadro 15, os torques máximo, $TE_{máx}$, e residual, TE_{res} , obtidos através do torquímetro elétrico, e no Quadro 16, $T_{máx}$ e T_{res} obtidos do torquímetro analógico. No Quadro 17 encontram-se os valores dos teores-de-umidade, w , obtidos a cada metro de sondagem.

Tanto nesses Quadros, como naqueles correspondentes ao mesmo assunto nos itens que se seguem, possuem os seguintes significados:

- $\bar{N}$; $\bar{T}$ e $\bar{w}$: valores médios;
- sd: desvio-padrão;
- cv: coeficiente-de-variação.

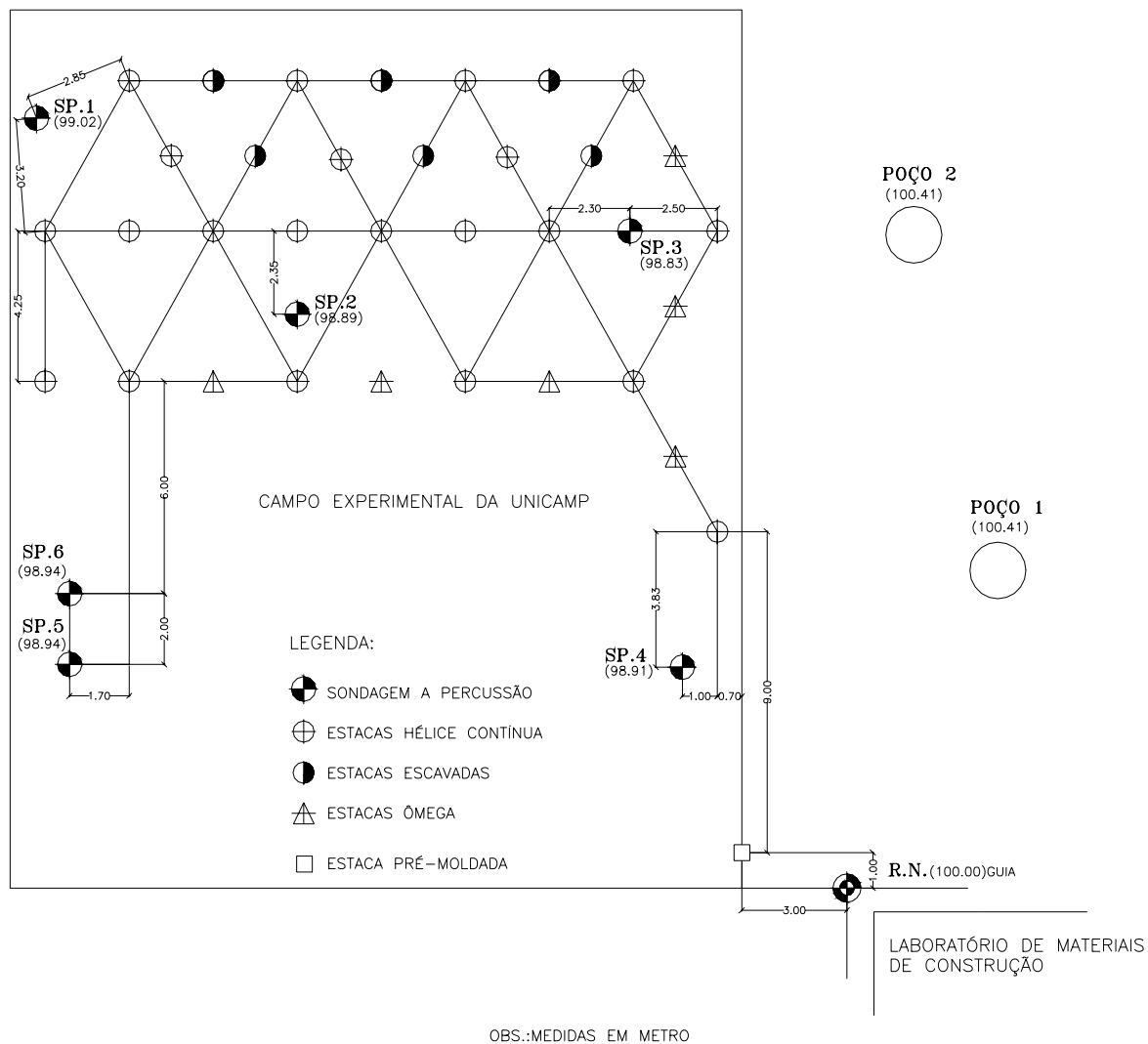


FIGURA 27 - Locação dos furos de sondagem da UNICAMP

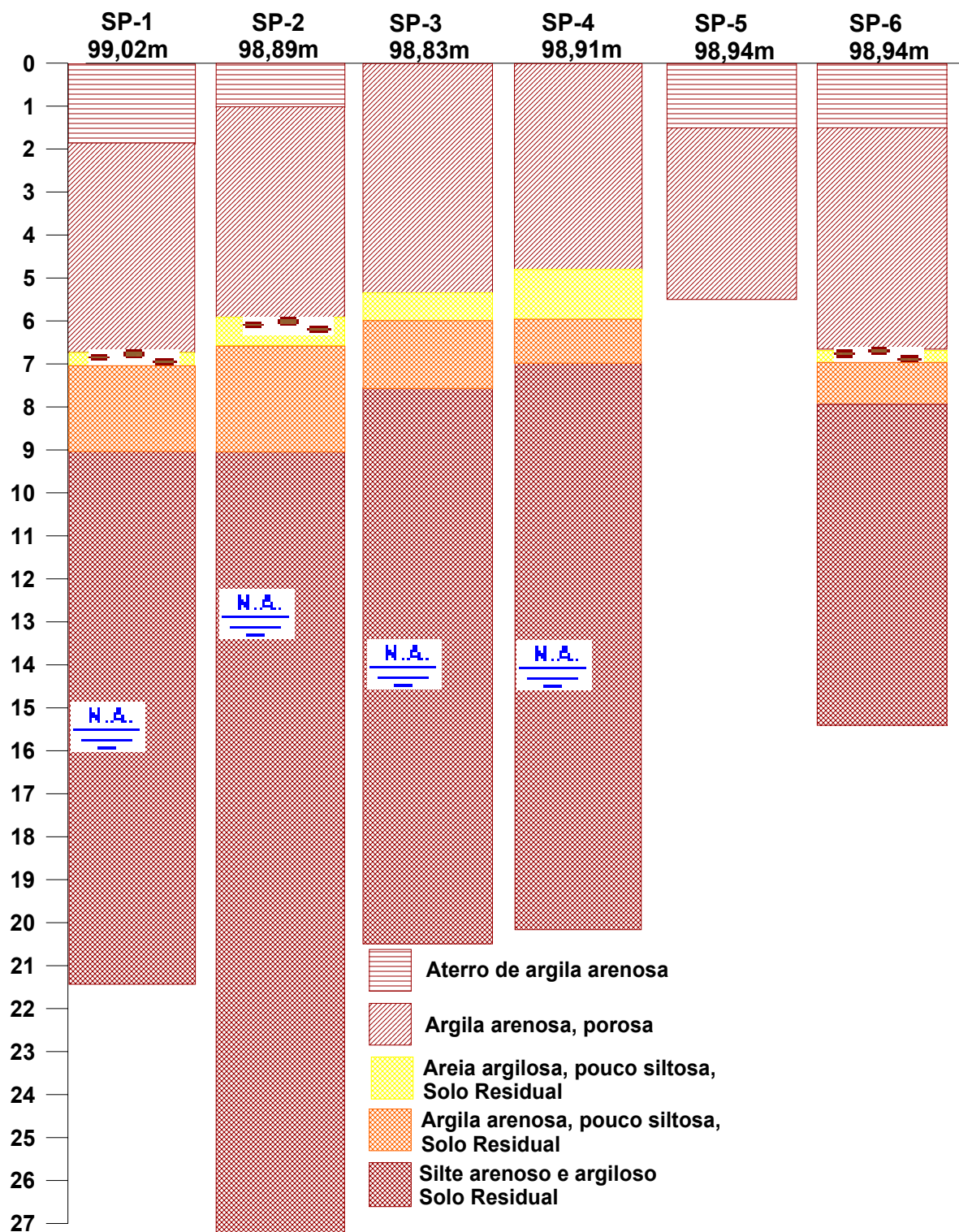


FIGURA 28 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da Feagri – Unicamp

Nas Figuras de 29 a 32 apresentam-se os valores médios, máximos e mínimos, em função da profundidade do N , $TE_{máx}$ e TE_{res} do torquímetro elétrico, $T_{máx}$ e T_{res} do torquímetro analógico e teor-de-umidade, respectivamente.

QUADRO 14 - Valores N para a Feagri - Unicamp

Profundidade (m)	$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$N5$	$N6$	$\bar{N}$	sd	cv (%)
1	10,0	3,2	1,8	2,1	3,1	3,1	3,90	3,04	78,07
2	1,8	2,5	3,9	5,8	2,2	2,1	3,05	1,53	50,30
3	3,1	2,8	3,8	0,9	1,9	2,1	2,44	0,99	40,76
4	4,0	3,9	4,8	4,1	3,0	3,0	3,81	0,71	18,65
5	5,0	3,9	7,7	5,0	5,0	5,2	5,30	1,29	24,30
6	6,9	5,6	4,4	5,5		5,8	5,62	0,88	15,59
7	8,2	5,5	3,8	6,0		7,7	6,22	1,80	28,85
8	7,0	5,8	4,0	7,0		5,6	5,89	1,24	20,99
9	6,8	6,6	6,7	5,5		7,2	6,54	0,66	10,11
10	10,0	7,0	7,0	8,3		8,7	8,20	1,26	15,41
11	12,4	8,4	7,0	6,6		9,7	8,82	2,36	26,71
12	9,7	11,0	7,5	6,0		8,0	8,44	1,95	23,09
13	9,7	7,9	6,2	7,5		7,7	7,81	1,24	15,90
14	9,1	8,2	6,4	6,2		18,0	9,56	4,88	51,00
15	6,0	9,3	8,0	6,6		11,0	8,17	2,04	24,95
16	11,8	9,0	8,7	10,0			9,88	1,39	14,09
17	24,6	15,5	9,7	16,0			16,45	6,17	37,48
18	21,0	23,0	15,0	62,7			30,43	21,80	71,63
19	29,0	21,0	17,4	80,8			37,05	29,54	79,75
20	46,0	71,1	13,0	65,3			48,84	26,18	53,61
21	55,0	21,0							
22		27,1							
23		19,4							
24		17,0							
25		19,4							
26		27,0							
27		22,0							

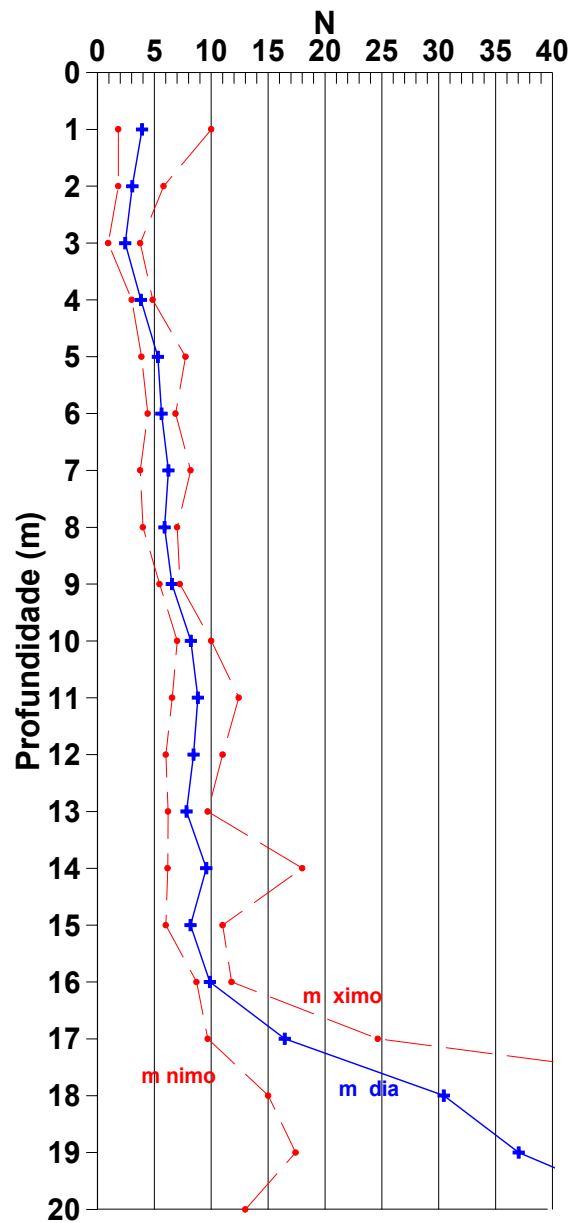


FIGURA 29 - Valores médios, máximos e mínimos de N - Feagri - Unicamp

QUADRO 15 - Valores $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico na Feagri - Unicamp

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	Furo6	$\bar{T}$	sd	cv
	$TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) TE_{res} (kgf.m)								
1	2,28 0,76	1,82 0,59	1,46 0,05	2,17 0,61	3,44 0,96	3,34 0,77	2,42 0,62	0,81 0,31	33,34 49,96
2	1,02 0,44	2,02 2,02	2,22 0,60	3,18 1,06	1,85 1,00	2,03 0,90	2,05 0,79	0,69 0,24	33,80 30,89
3	1,57 0,48	1,79 0,61		1,36 0,45	2,23 0,84	1,97 1,01	1,86 0,67	0,35 0,22	19,02 32,17
4	1,54 0,67	2,97 1,07	2,23 2,23	3,08 1,58	2,83 1,05	2,05 1,01	2,72 1,15	0,82 0,34	30,05 29,54
5	2,21 0,70	2,27 1,41	3,86 1,50	5,85 3,47	3,06 1,13	3,79 1,27	3,50 1,64	1,35 0,97	38,50 59,39
6	2,27 0,64	4,70 2,61	3,83 1,85	4,86 2,80		3,47 1,29	3,94 2,00	1,08 0,97	27,35 48,74
7	3,45 1,33	4,77 3,07	4,40 2,66	5,78 3,40		6,48 2,23	5,22 2,42	1,16 0,82	22,27 33,99
8	5,01 2,09	7,26 4,15	5,64 2,09	9,05 5,79		6,61 3,62	7,05 4,04	1,46 1,35	20,64 33,46
9	6,03 3,55	6,48 5,04	7,33 4,54	6,69 4,90		10,71 7,14	7,96 5,14	2,17 1,28	27,25 24,97
10	11,24 11,24	8,52 5,93	9,89 5,09	10,27 7,47		14,78 11,03	10,77 7,29	2,48 2,29	23,07 31,34
11	11,24 7,00	10,24 6,53	9,02 5,07	10,87 7,68		17,58 11,48	11,80 7,86	3,33 2,07	28,24 26,36
12	11,37 6,98	13,00 8,50	9,08 6,62	10,37 6,97		13,05 10,32	11,33 7,70	1,79 1,76	15,80 22,82
13		10,20 7,42	8,85 5,75	13,16 8,45		15,08 10,45	12,01 8,24	2,57 1,65	21,38 20,02
14		11,03 7,98	9,61 6,64	10,91 7,79		19,97 13,87	14,04 9,77	4,25 2,83	30,24 28,97
15	11,49 7,74	12,83 9,16	14,25 9,45	11,81 7,47		20,65 12,75	15,13 10,26	4,31 3,03	28,45 29,55
16		14,51 11,95	18,89 14,16	17,06 11,92			17,48 12,89	3,20 1,66	18,31 12,87
17		19,66 15,17	20,87 14,81	23,29 14,63			23,34 16,41	3,70 2,64	15,86 16,07
18	29,39 29,39		27,06 19,44				27,36 20,36	2,87 2,30	10,49 11,28
19	31,28 27,52	33,06 23,26	25,33 18,74				28,82 21,93	5,86 6,36	20,35 28,98
20		43,28 36,16	22,13 15,02						
21									
22		27,25 19,81							
23		26,99 19,08							
24									
25		27,41 18,60							
26		28,24 21,83							
27		28,30 20,19							

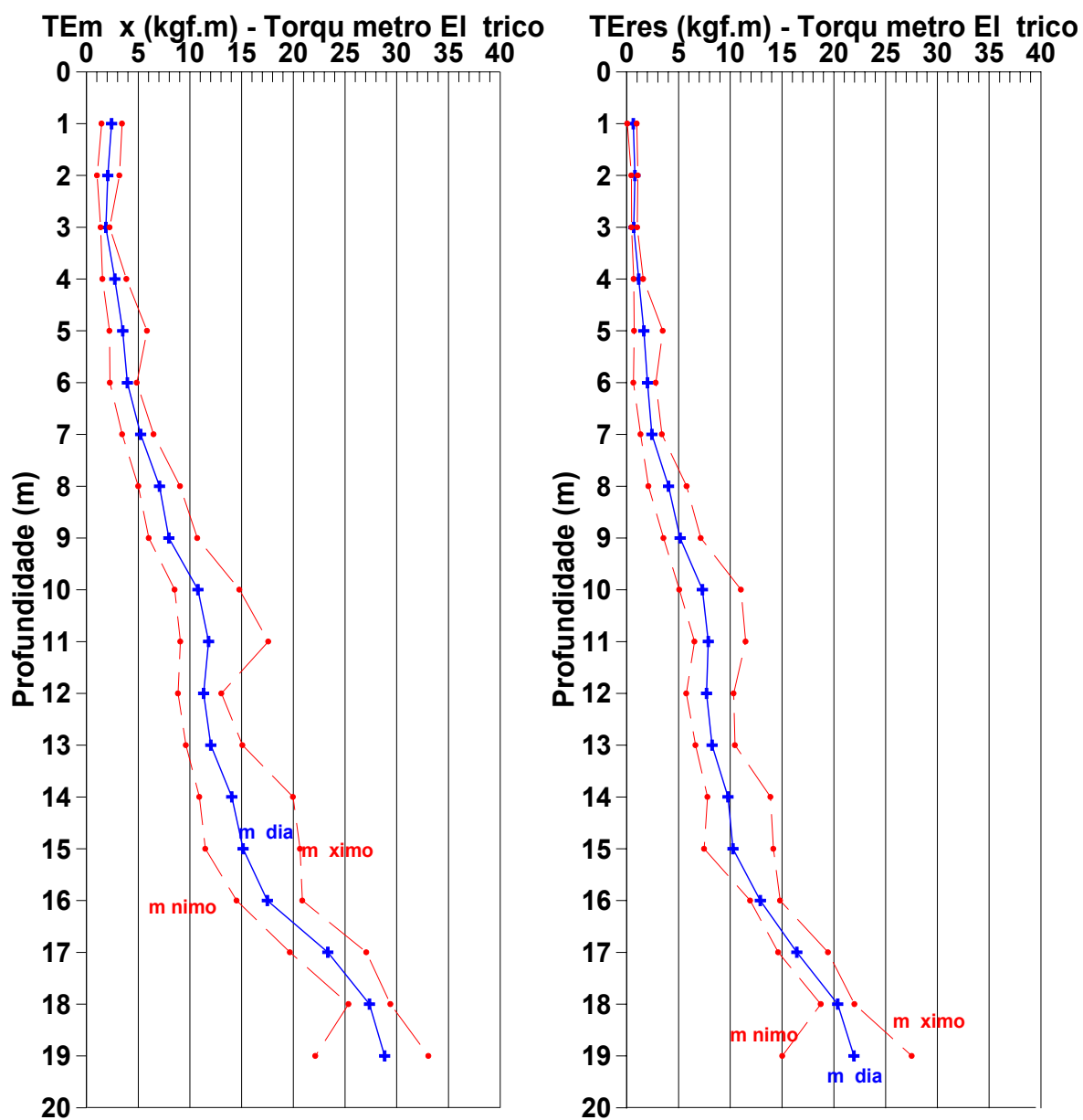


FIGURA 30 - Valores médios, máximos e mínimos de $TE_{máx}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico - Feagri - Unicamp

QUADRO 16 - Valores $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico na Feagri - Unicamp

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	Furo6	$\bar{T}$	sd	cv
	$T_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) T_{res} (kgf.m)								
1	2,0 1,0	1,7 0,0	1,6 0,4	2,0 1,0	2,5 1,0	3,0 1,0	2,15 0,74	0,52 0,43	24,01 58,57
2	0,8 0,0	2,5 0,8	2,0 0,5	3,0 1,5	1,4 0,9	1,7 0,8	1,88 0,76	0,80 0,50	42,64 64,93
3	1,0 0,0	1,7 0,4	2,8 0,9	1,0 0,5	2,2 0,9	1,5 0,5	1,70 0,54	0,70 0,34	41,02 62,79
4	1,0 0,0	4,0 1,0	4,0 2,0	3,4 2,5	2,3 0,9	1,5 1,0	2,71 1,23	1,29 0,87	47,71 70,63
5	1,5 0,0	3,6 0,9	3,6 3,0	6,0 4,0	2,9 1,4	4,0 2,0	3,60 1,89	1,47 1,45	41,00 76,49
6	1,8 0,5	4,0 1,5	3,9 3,0	3,9 3,0		3,9 2,0	3,51 1,98	0,95 1,08	27,22 54,41
7	2,8 1,0	3,6 2,0	6,0 4,0	6,0 4,0		5,9 3,0	4,86 2,80	1,53 1,30	31,58 46,57
8	3,8 2,0	5,7 4,0	6,9 4,9	8,0 6,5		6,7 3,8	6,21 4,24	1,59 1,64	25,63 38,67
9	5,6 3,8	5,7 4,8	12,0 6,0	6,5 5,5		10,0 7,0	7,97 5,41	2,87 1,23	36,00 22,72
10	10,0 7,0	8,0 6,0	10,0 5,5	11,7 7,8		13,7 11,7	10,69 7,61	2,14 2,48	20,04 32,52
11	10,8 6,9	8,8 5,9	9,0 6,5	11,0 8,5		16,6 12,7	11,24 8,09	3,17 2,76	28,25 34,15
12	10,5 6,7	12,0 8,0	7,8 5,9	9,8 7,8		14,0 10,0	10,83 7,68	2,32 1,56	21,47 20,32
13	10,0 7,5	9,8 7,3	9,8 6,9	14,0 8,0		14,7 10,8	11,65 8,09	2,47 1,55	21,19 19,13
14	8,2 5,6	10,0 6,5	14,7 10,3	10,5 8,6		20,0 12,0	12,68 8,60	4,73 2,63	37,34 30,56
15	10,0 7,0	13,0 9,0	19,0 16,0	12,0 8,0		20,0 11,0	14,80 10,20	4,44 3,56	29,99 34,94
16	18,0 14,0	14,4 10,5	20,0 15,0	17,0 14,0			17,34 13,38	2,35 1,96	13,53 14,64
17	28,0 23,0	21,5 18,6	25,0 20,0	25,0 14,0			24,88 18,90	2,65 3,75	10,65 19,83
18	28,0 26,0	30,0 23,0	24,5 19,6	58,4 54,7			35,21 30,83	15,61 16,15	44,34 52,40
19	32,0 28,0	30,0 19,0	20,0 17,0	88,4 96,4			42,60 40,11	30,98 37,85	72,72 94,38
20	49,4 43,9	59,6 59,6		88,4 80,4			65,78 61,27	20,23 18,29	30,76 29,85
21	51,9 51,9	45,0 40,0							
22		23,5 18,6							
23		24,5 17,6							
24		24,0 24,0							
25		25,4 19,6							
26		26,0 20,0							
27		30,0 25,0							

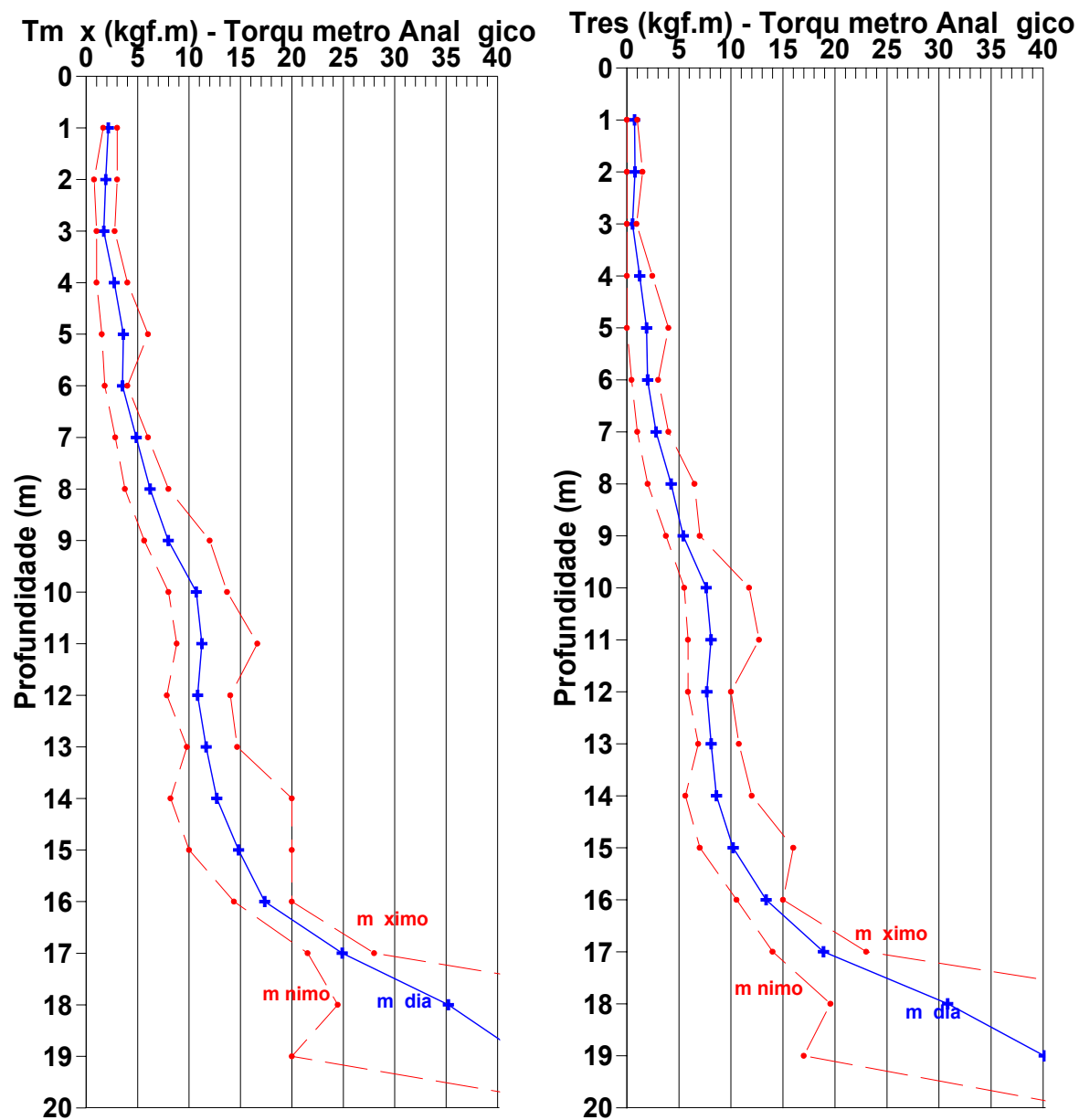


FIGURA 31 - Valores médios, máximos e mínimos de $T_{m\acute{x}}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico - Feagri - Unicamp

QUADRO 17 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do *SPT-T*, para a Feagri – Unicamp

Profundidade (m)	w1	w2	w3	w4	w5	w6	$\bar{w}$	sd	cv
1	25,6	29,3	26,7	27,0	28,6	27,8	27,49	1,34	4,86
2	26,2	28,1	27,4	26,0	29,8	29,7	27,87	1,65	5,92
3	25,5	28,3	26,9	25,7	28,2	27,9	27,09	1,26	4,64
4	25,6	27,8	26,0	27,5	26,7	26,7	26,72	0,84	3,15
5	25,2	28,1	27,9	25,2	27,9	24,8	26,52	1,60	6,04
6	26,0	29,0	29,2	30,1		26,9	28,25	1,71	6,05
7	26,7	33,4	35,3	34,8		28,2	31,69	3,95	12,47
8	29,7	35,6	36,4	32,4		29,0	32,63	3,34	10,23
9	33,5	36,5	38,2	37,0		34,5	35,95	1,90	5,29
10	33,7	38,4	39,5	38,1		33,9	36,72	2,72	7,40
11	32,7	37,5	38,8	40,7		34,6	36,85	3,22	8,74
12	34,4	40,4	41,1	42,7		37,2	39,15	3,34	8,52
13	37,94	41,9	43,6	41,1		46,0	42,11	2,99	7,11
14	40,1	42,2	43,9	46,4		13,2	37,15	13,61	36,63
15	44,9	42,3	44,9	49,6		16,9	39,71	13,05	32,86
16	46,5	45,8	46,9	50,1			47,33	1,91	4,03
17	29,9	47,4	47,7	49,5			43,63	9,20	21,08
18	32,2	21,7	46,3	19,2			29,85	12,33	41,30
19	30,0	22,1	29,0	13,8			23,73	7,49	31,57
20	19,6	19,5	30,1	13,8			20,75	6,80	32,76
21	19,2	17,4							
22		23,2							
23		26,4							
24		27,9							
25		25,6							
26		24,3							
27		28,4							

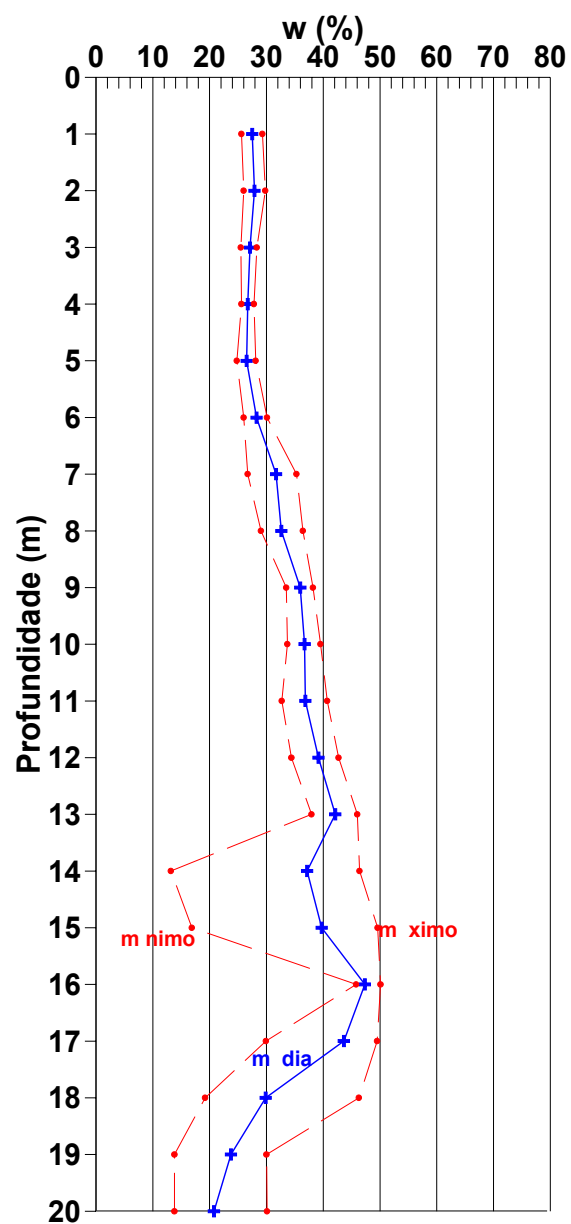


FIGURA 32 - Valores médios, máximos e mínimos dos teores-de-umidade - Feagri - Unicamp

5.1.4 – Resultados dos Ensaios de Penetração de Cone

Foram executados quatro furos de *CPT* (ponteira elétrica do tipo cone-atrito) , CE.1, CE.3, CE.6 e CE7, cujas locações estão na Figura 33.

O equipamento utilizado, apresentado na Figura 34, consiste de um cone-atrito elétrico, no qual os dados são transmitidos por sinais sonoros, eliminando-se assim, a necessidade de utilização de cabos elétricos, permitindo a leitura direta na ponteira e facilitando o procedimento do ensaio. A cravação da ponteira é realizada com um penetrômetro hidráulico, Figura 35.

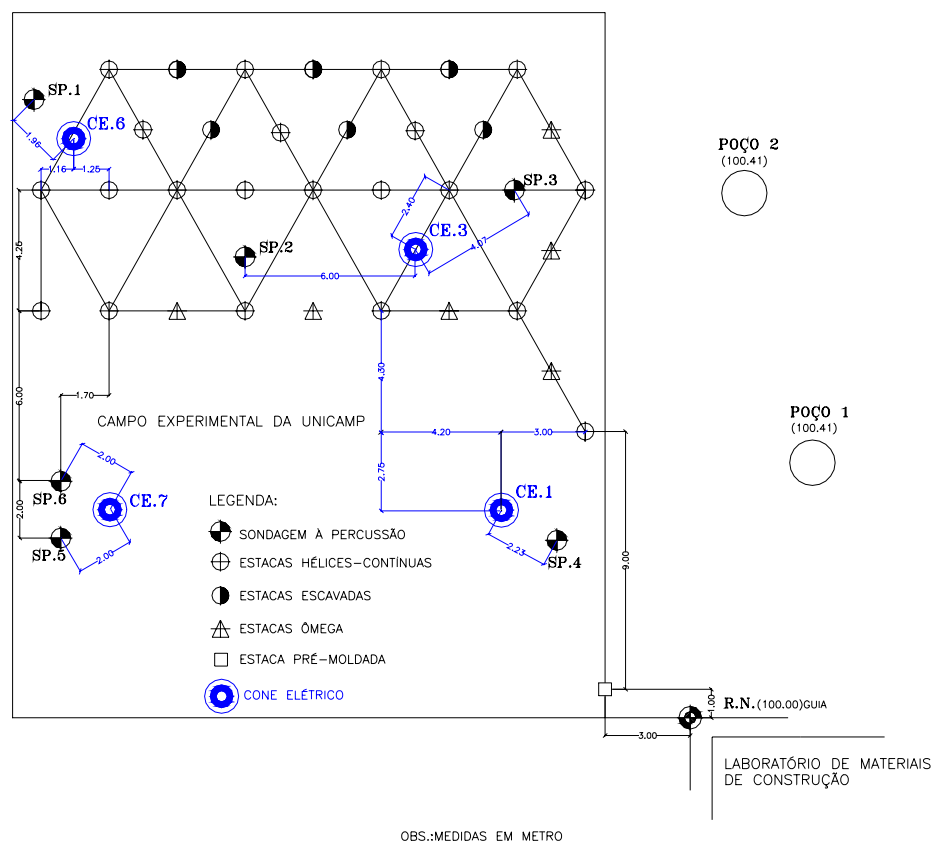


FIGURA 33 - Localização dos Ensaios CPT da Feagri – Unicamp



FIGURA 34 - Ponteira Cone-atrito elétrica, utilizada nos ensaios *CPT*



FIGURA 35 - Penetrômetro utilizado para cravação da ponteira nos ensaios de *CPT*

Na Figura 36 estão apresentados os resultados dos ensaios de penetração de cone-atrito elétrico, nos quais q_c significa resistência na ponta do cone, f_s , atrito lateral local ao longo da luva de atrito e FR ($=f_s/q_c$), razão de atrito. Os resultados do Quadro 18 representam os valores médios calculados nos intervalos de cravação do *SPT*, como por exemplo, a média das medidas feitas entre 1,00 e 1,45m.

O furo CE.3 foi medido a partir de 3,00m, por problemas no momento da execução.

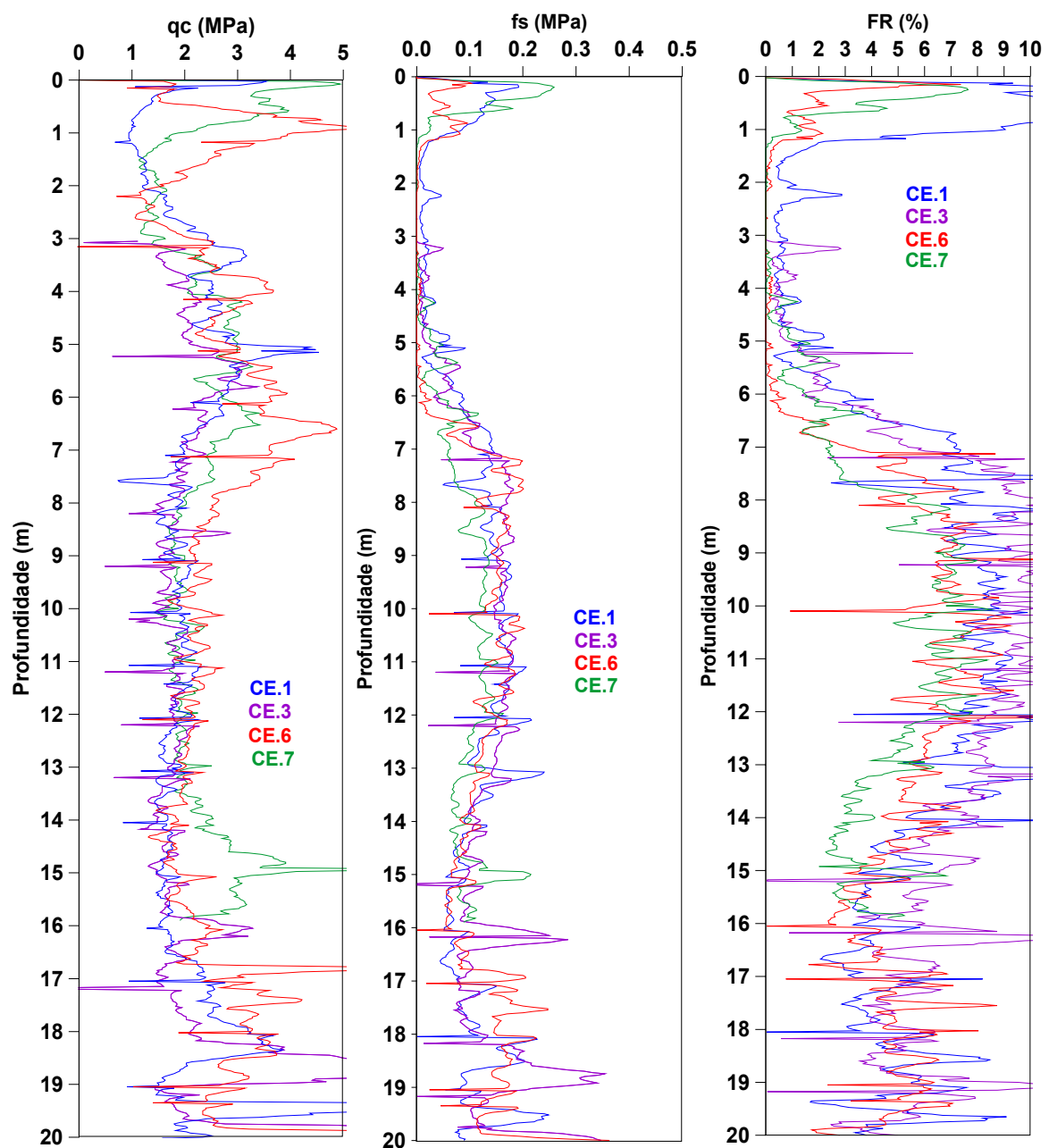


FIGURA 36 - Resultados de Ensaio CPT da Feagri - Unicamp

QUADRO 18 - Resultados médios dos ensaios cPT realizados na Feagri - Unicamp

Prof.	CE.1			CE.3			CE.6			CE.7		
(m)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}R$ (%)
1,00-1,45	1,01	0,04	3,70				3,18	0,03	0,98	1,53	0,01	0,40
2,00-2,45	1,55	0,02	1,43				1,27	0,00	0,06	1,46	0,00	0,01
3,00-3,45	2,86	0,02	0,60	1,49	0,02	1,20	2,21	0,00	0,01	1,84	0,00	0,04
4,00-4,45	2,56	0,02	0,82	2,11	0,01	0,42	3,04	0,00	0,13	2,78	0,01	0,45
5,00-5,45	3,52	0,04	1,04	2,57	0,04	1,77	3,03	0,00	0,06	2,95	0,05	1,64
6,00-6,45	2,61	0,09	3,39	2,27	0,07	3,06	3,57	0,02	0,60	3,08	0,07	2,34
7,00-7,45	1,88	0,14	7,21	2,06	0,15	7,39	3,50	0,16	4,67	2,49	0,06	2,57
8,00-8,45	1,66	0,14	8,60	1,63	0,16	10,30	2,51	0,15	6,07	1,87	0,11	6,03
9,00-9,45	2,00	0,16	8,09	1,58	0,16	10,71	2,26	0,16	6,99	1,86	0,13	7,08
10,00-10,45	1,92	0,16	8,38	1,60	0,15	9,97	2,32	0,17	7,26	1,89	0,11	6,24
11,00-11,45	2,05	0,18	8,67	1,73	0,17	9,61	2,34	0,16	6,98	1,83	0,13	7,07
12,00-12,45	1,83	0,16	8,92	1,89	0,16	8,11	2,11	0,15	7,21	1,92	0,12	6,09
13,00-13,45	1,66	0,17	10,28	1,68	0,15	9,36	2,02	0,12	5,72	1,98	0,09	4,44
14,00-14,45	1,64	0,10	6,09	1,61	0,11	6,98	1,67	0,10	5,79	2,57	0,08	3,00
15,00-15,45	1,60	0,07	4,22	1,68	0,09	5,30	1,98	0,08	3,81	3,07	0,12	3,98
16,00-16,45	1,68	0,07	4,22	2,47	0,19	7,89	2,38	0,08	3,38			
17,00-17,45	2,39	0,11	4,55	1,48	0,09	0,26	3,33	0,16	4,83			
18,00-18,45	3,48	0,17	4,75	3,04	0,16	5,19	3,46	0,18	5,21			
19,00-19,45	2,93	0,11	4,83	1,79	0,14	7,77	2,49	0,15	5,66			
20,00-20,45	7,43	0,11	2,65	7,99	0,33	4,42	13,30	0,47	3,61			

5.2 – CAMPO EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (MG)

5.2.1 – Caracterização Geológica

A geologia dessa região é composta de rochas metamórficas do Complexo Lavras e Complexo São João Del Rei. As principais unidades litológicas são:

gnaisse leucocrático; gabro epimetamórfico. No Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras, UFLA, pode-se constatar um solo residual semelhante àqueles formados a partir do gnaisse.

5.2.2 – Caracterização Geotécnica

O perfil geotécnico do Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras é composto basicamente de uma primeira camada de quatro metros de silte argiloso, de comportamento laterítico e, logo abaixo, de silte arenoso, saprolítico. Não foi encontrado nível d'água até a profundidade de 17 metros.

Os ensaios laboratoriais foram realizados por Teixeira (1997) . Os resultados desses ensaios, apresentados a seguir, foram obtidos de amostras retiradas, até 10,0 metros de profundidade, de um poço no Campo Experimental.

– Ensaios de Caracterização

Os resultados dos ensaios de caracterização: limites de consistência e granulometria, encontram-se no Quadro 19.

– Índices Físicos

Os índices físicos estão apresentados no Quadro 20.

– Parâmetros de Resistência

Os resultados apresentados no Quadro 21 foram obtidos de ensaios triaxiais rápidos e cisalhamento direto.

– Parâmetros de Compressibilidade

Os resultados dos ensaios de adensamento estão apresentados no Quadro 22, sendo que as tensões geostáticas, σ'_{v0} , foram calculadas a partir dos pesos específicos do Quadro 20.

– Colapsibilidade

Para a caracterização da colapsibilidade, Teixeira (1997) realizou ensaios de adensamento duplo com amostras de 1,0m, 2,0m, 3,0m, 4,0m e 5,0m de profundidade (Quadro 23). O ensaio de adensamento duplo consiste em submeter duas amostras de mesmo solo, uma na umidade natural e outra previamente inundada, às mesmas cargas, e comparar as deformações resultantes.

A profundidade mais susceptível ao colapso é a de 2,0m. Os corpos-de-prova das profundidades de 4,0m e 5,0m não apresentaram colapso.

QUADRO 19 - Resultados do ensaios de Caracterização para a UFLA

Profundidade (m)	Limites de Consistência		Granulometria		
	<i>LL</i> (%)	<i>LP</i> (%)	argila (%)	silte (%)	areia f. (%)
0,5	60	38	20	72	8
1,0	64	45	22	70	8
1,5	61	41	30	64	6
2,0	58	39	37	57	6
3,0	68	45	32	61	7
4,0	58	42	27	61	12
5,0	54	43	7	78	15
6,0	64	47	1	80	19
7,0	61	53	3	75	22
8,0	69	54	1	82	17
9,0	74	62	1	84	15
10,0	58	45	1	79	20

QUADRO 20 - Valores de Índices Físicos para a UFLA

Profundidade (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	<i>w</i> (%)	<i>e</i>	<i>n</i> (%)
0,5	14,5	27,8	10,8	33,9	1,57	61,1
1,0	13,6	29,0	10,1	34,9	1,88	65,3
1,5	14,3	28,8	10,4	37,0	1,76	63,8
2,0	14,8	28,2	10,8	36,7	1,61	61,7
3,0	16,8	28,9	12,5	33,8	1,31	56,7
4,0	17,1	27,9	12,9	32,0	1,15	53,5
5,0	16,2	27,7	12,1	33,7	1,28	56,1
6,0	15,4	26,9	11,4	35,5	1,37	57,8
7,0	15,6	27,9	11,0	40,8	1,54	60,6
8,0	16,8	28,4	12,1	38,2	1,35	57,3
9,0	17,3	29,9	12,4	39,8	1,43	58,8
10,0	15,8	29,5	11,2	40,5	1,63	62,0

QUADRO 21 - Parâmetros de resistência para a UFLA

Profundidade (m)	Triaxial Rápido		Cisalhamento Direto	
	c (kPa)	ϕ (°)	c (kPa)	ϕ (°)
0,5	-	-	20	34
1,0	20	13	44	25
1,5	-	-	26	33
2,0	38	16	62	18
3,0	53	14	86	19
4,0	98	7	60	32
5,0	73	7	36	29
6,0	13	18	40	29
7,0	35	19	52	29
8,0	78	15	86	27
9,0	85	18	110	23
10,0	25	25	70	24

QUADRO 22 - Parâmetros de compressibilidade para a UFLA

Profundidade (m)	σ'_{v0} (kPa)	Cc	σ'_{ad}	OCR
0,5	7	1,20	210	30,0
1,0	14	0,96	350	25,0
2,0	28	1,00	260	9,3
3,0	45	0,95	556	12,4
4,0	62	0,59	280	4,5
5,0	79	0,73	360	4,6
6,0	94	0,78	280	2,9
7,0	110	0,73	225	2,0
8,0	126	0,65	500	4,0
9,0	144	0,50	1000	6,9
10,0	159	1,00	550	3,5

QUADRO 23 - Coeficiente colapso estrutural do subsolo da UFLA

Tensões de Inundação (kPa)	Valores de i (%)				
	Prof. 1,0m	Prof. 2,0m	Prof. 3,0m	Prof. 4,0m	Prof. 5,0m
100	0,0	13,6	-	-	-
200	9,8	11,6	-	0,0	0,0
400	-	8,4	-	-	-
556	-	-	5,1	-	-
800	-	-	-	-	-

5.2.3 – Resultados dos Ensaios *SPT-T*

Foram executados dois furos em terreno da Universidade Federal de Lavras, UFLA. Embora as fundações nesse Campo Experimental sejam relativamente rasas - tubulões a 4,5 metros e estacas a 10 metros de profundidade - optou-se por executar as sondagens até 17 metros, num total de 34,91 metros, uma vez que o comprimento mínimo a ser cobrada seria 40 metros. Não foram feitos mais furos a profundidades menores devido à disposição muito próxima das fundações no Campo Experimental. A locação corresponde à Figura 37 e os perfis do subsolo à Figura 38.

Os ensaios foram executados entre os dias 12 e 16 de abril de 1999, à temperatura média, nesse período, de 27,5°C.

Os índices de resistência do *SPT*, N , estão apresentados no Quadro 24 e Figura 39; os torques máximo, $T_{máx}$, e residual, T_{res} , obtidos através do torquímetro analógico, estão apresentados no Quadro 25 e na Figura 40. No Quadro 26 e na Figura 41 apresentam-se $T_{máx}$ e T_{res} , obtidos do torquímetro elétrico, e, finalmente, no Quadro 27 e na Figura 42 encontram-se os valores dos teores-de-umidade, w , obtidos a cada metro de sondagem.

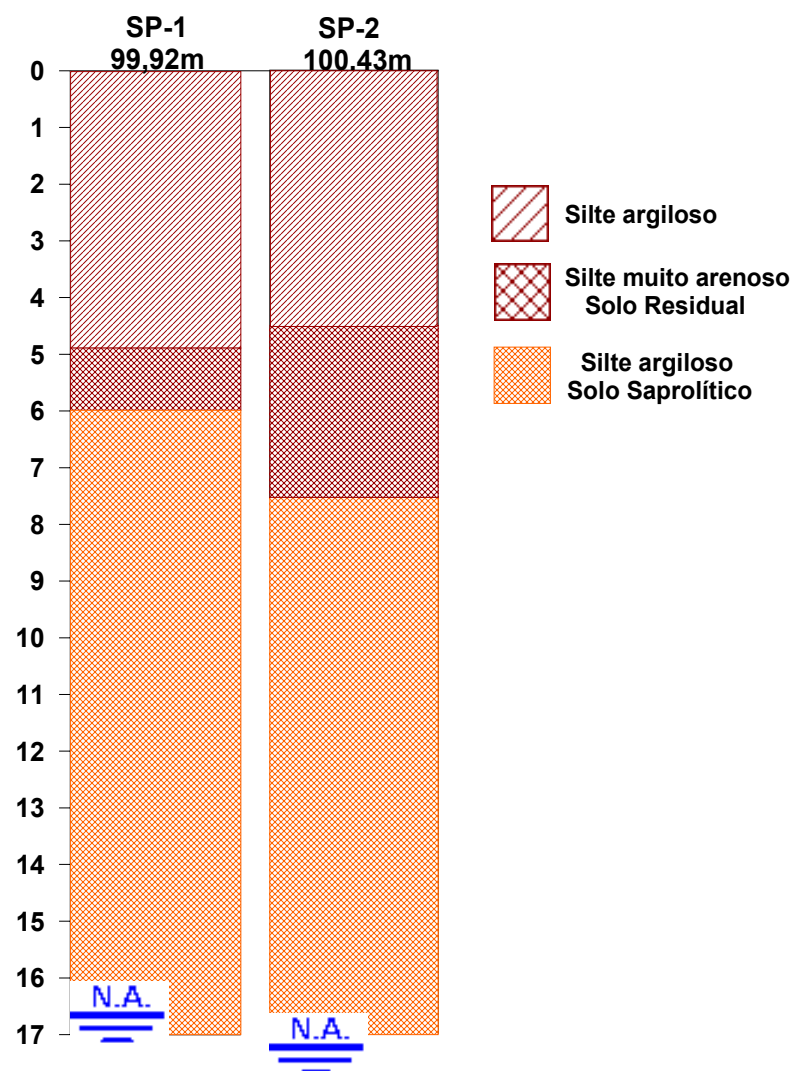


FIGURA 38 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da UFLA

QUADRO 24 - Valores N - UFLA

Profundidade (m)	$N1$	$N2$	$\bar{N}$
1	2,9	4,1	3,48
2	4,0	5,5	4,73
3	7,5	6,0	6,75
4	8,9	6,7	7,78
5	7,2	6,0	6,62
6	3,4	4,7	4,06
7	6,8	8,3	7,52
8	5,8	10,0	7,91
9	4,7	5,0	4,85
10	5,4	7,5	6,43
11	7,0	6,8	6,89
12	8,3	4,6	6,45
13	6,8	6,0	6,39
14	8,3	8,3	8,28
15	3,9	6,0	4,94
16	6,0	6,0	6,00
17	5,8	6,0	5,91

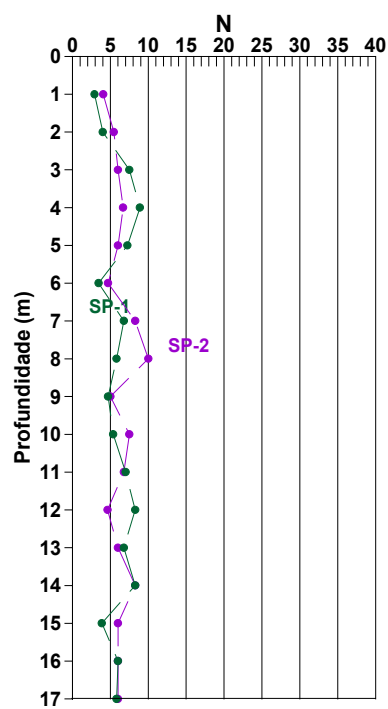


FIGURA 39 - Valores de N – UFLA

QUADRO 25 - Valores $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} do torquímetro elétrico - UFLA

Profundidade (m)	Furo1		Furo2		média	
	$TE_{m\acute{a}x}$	TE_{res}	$TE_{m\acute{a}x}$	TE_{res}	$\overline{TE}_{m\acute{a}x}$	$\overline{TE}_{res}$
1	6,46	1,52	2,96	0,86	4,71	1,19
2	7,87	2,07	8,49	2,84	8,18	2,45
3	5,23	0,25	8,04	2,71	6,64	1,48
4	6,22	3,25	6,52	2,99	6,37	3,12
5	9,89	5,15	8,61	4,59	9,25	4,87
6	4,69	2,16	6,46	3,61	5,57	2,88
7	10,83	6,61	13,49	8,97	12,16	7,79
8	8,58	4,21	17,53	10,87	13,06	7,54
9	11,34	5,39	8,26	4,36	9,80	4,88
10	14,09	7,59	19,02	10,73	16,55	9,16
11	13,67	8,29	14,90	8,18	14,28	8,24
12	13,32	8,50	9,57	5,77	11,45	7,13
13	10,67	4,73	10,76	5,94	10,72	5,33
14	15,75	9,96	16,54	9,19	16,14	9,58
15	6,22	3,66	11,61	5,64	8,91	4,65
16	12,31	7,26	12,27	6,56	12,29	6,91
17	12,18	9,48	11,74	-	11,96	-

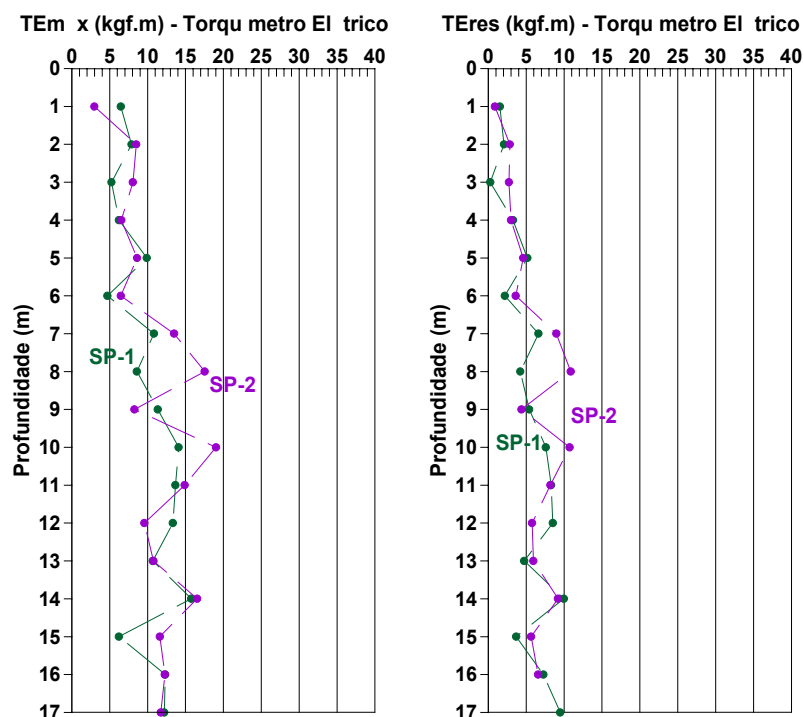


FIGURA 40 - $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico – UFLA

QUADRO 26 - Valores $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} do torquímetro analógico - UFLA

Profundidade (m)	Furo1		Furo2		média	
	$T_{m\acute{a}x}$	T_{res}	$T_{m\acute{a}x}$	T_{res}	$\bar{T}_{m\acute{a}x}$	$\bar{T}_{res}$
1	4,7	0,9	1,3	0,9	2,99	0,90
2	8,0	2,0	8,3	2,8	8,13	2,38
3	4,0	2,5	8,0	3,0	6,00	2,75
4	5,0	3,5	5,9	3,4	5,43	3,46
5	7,0	5,0	6,6	4,7	6,78	4,84
6	4,5	2,3	6,1	3,8	5,30	3,00
7	11,7	7,3	12,7	5,9	12,23	6,60
8	8,8	4,9	18,2	10,5	13,50	7,71
9	9,6	5,7	6,9	4,4	8,21	5,07
10	14,7	8,3	19,0	11,0	16,84	9,66
11	14,7	9,8	15,0	8,9	14,84	9,34
12	13,7	8,8	11,0	6,4	12,36	7,62
13	9,8	5,4	10,5	5,7	10,16	5,56
14	16,0	11,0	16,3	9,6	16,14	10,29
15	6,4	5,1	11,0	7,0	8,71	6,03
16	12,0	7,5	13,4	7,2	12,70	7,34
17	12,7	11,3	11,5	10,0	12,11	10,63

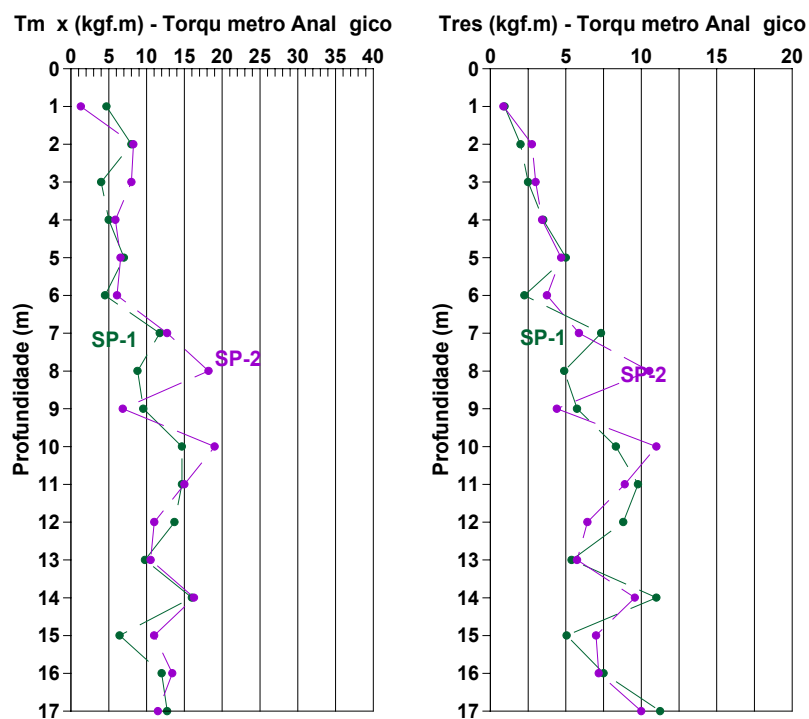


FIGURA 41 - $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – UFLA

QUADRO 27 - Valores dos teores-de-umidade - UFLA

Profundidade (m)	w1	w2	$\bar{w}$
1	41,6	39,0	40,30
2	40,3	39,3	39,80
3	38,3	37,1	37,70
4	37,1	36,8	36,95
5	31,6	39,0	35,30
6	33,4	38,3	35,85
7	37,8	36,8	37,30
8	42,5	38,8	40,65
9	53,1	42,2	47,65
10	50,2	47,0	48,60
11	49,3	55,9	52,60
12	48,5	51,5	50,00
13	52,0	53,1	52,55
14	43,5	52,9	48,20
15	61,6	59,7	60,65
16	61,5	59,7	60,60
17	53,7	59,3	56,50

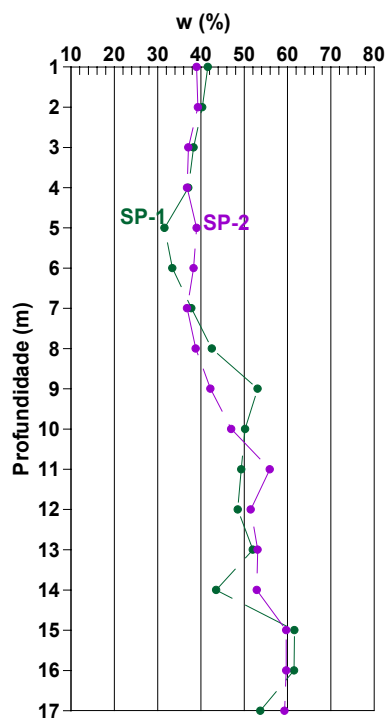


FIGURA 42 - Valores dos teores-de-umidade – UFLA

5.3 – CAMPO EXPERIMENTAL DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – USP (SP)

O Campo Experimental do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, foi implantado em 1988 e, desde então, passou por três etapas. Na primeira etapa foram estudadas estacas escavadas mecanicamente a seco, instrumentadas, com comprimento de 10m e diâmetro de 0,35m a 0,50m, ensaiadas à compressão e à tração. Numa segunda etapa, foram estudadas estacas tipo broca, com diâmetro de 0,25m e comprimento de 6m, dispostas em grupo de duas, três e quatro estacas, e também duas isoladas. Nessa fase também foi estudado o efeito da colapsibilidade. Atualmente estão sendo pesquisados tubulões a céu aberto, com instrumentação para monitoramento da pressão de sucção.

5.3.1 – Caracterização Geológica

A região de São Carlos está assentada sobre as rochas do Grupo São Bento, constituídas pelos arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia, e pelos derrames de rochas efusivas basálticas da Formação Serra Geral. Acima dessas rochas aparecem os conglomerados e arenitos do Grupo Bauru, e, logo a seguir, abrangendo toda a região, têm-se os Sedimentos Cenozóicos, geralmente caracterizados como colapsíveis. Carvalho (1991).

5.3.2 – Caracterização Geotécnica

O perfil geotécnico do Campo Experimental da EESC-USP é composto basicamente de duas camadas de areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, e separadas pela linha-de-seixos a aproximadamente 6,50m. A primeira camada é caracterizada como Sedimento Cenozóico e a segunda como residual do Arenito do Grupo Bauru.

Os ensaios laboratoriais foram realizados por Menezes (1990), Carvalho (1991) e Giacheti (1991). Os resultados desses ensaios, apresentados a seguir, foram obtidos de amostras deformadas e indeformadas, retiradas de um poço, de metro em metro, a partir de 1,30m a 10,30m.

– Ensaios de Caracterização

Os resultados dos ensaios de caracterização: limites de consistência e granulometria, encontram-se no Quadro 28.

– Índices Físicos

Os índices físicos estão apresentados no Quadro 29, sendo que, os pesos específicos naturais, γ_{nat} , os pesos específicos secos, γ_d , o teores-de-umidade, w , e os índices de vazios iniciais, e_0 , foram obtidos da moldagem do corpo-de-prova para o ensaio de adensamento, e as porosidades n foram calculadas em função dos índices de vazios.

QUADRO 28 - Resultados do ensaios de Caracterização – EESC - USP

Profundidade (m)	Limites de Consistência		Granulometria			
	<i>LL</i> (%)	<i>LP</i> (%)	argila (%)	silte (%)	areia f. (%)	areia m. (%)
1,30	24	17	26	11	51	12
2,30	26	18	21	14	55	10
3,30	27	20	31	8	51	10
4,30	28	18	28	11	56	5
5,30	30	10	20	17	54	9
6,30	31	22	22	16	54	8
7,30	31	22	19	14	57	10
8,30	34	20	21	9	54	16
9,30	30	10	17	10	56	17
10,30	32	10	20	8	56	16

QUADRO 29 - Valores de Índices Físicos – EESC - USP

Prof. (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e	n (%)	Sr (%)
1,30	15,6	27,5	13,8	13,3	0,99	49	37
2,30	15,5	26,8	13,3	16,2	1,01	50	43
3,30	15,8	27,0	13,5	16,6	0,99	49	45
4,30	16,9	27,3	14,6	15,9	0,87	47	50
5,30	17,2	27,6	14,9	15,5	0,85	46	50
6,30	17,0	27,5	14,5	17,5	0,90	47	54
7,30	18,3	27,3	15,9	14,9	0,72	42	57
8,30	19,0	27,7	16,5	15,4	0,68	40	63
9,30	18,4	27,7	15,9	16,1	0,74	43	60
10,30	18,9	27,6	16,1	17,5	0,71	42	67

– Parâmetros de Resistência

Os parâmetros de resistência apresentados no Quadro 30 correspondem a resultados de ensaios triaxiais do tipo adensado rápido, ensaios triaxiais do tipo drenado, e compressão simples. Os resultados dos ensaios triaxiais estão apresentados em termos de tensão efetiva.

QUADRO 30 - Parâmetros de resistência – EESC - USP

Profundidade (m)	Triaxial Adensado Rápido		Triaxial drenado		Compressão Simples
	c (kPa)	ϕ (°)	c_D (kPa)	ϕ_D (°)	R_c (kPa)
1,30	10,0	32,0	6,0	30,5	39,3
2,30	12,5	26,0	5,0	29,5	40,9
3,30	14,0	24,5	6,0	30,0	37,8
4,30	16,0	27,0	12,5	29,0	30,0
5,30	13,0	29,5	1,0	31,0	65,5
6,30	23,0	23,0	25,5	25,0	41,3
7,30	24,0	23,0	4,5	28,0	69,9
8,30	30,5	20,0	18,0	23,0	60,4
9,30	19,0	27,5	9,0	26,0	42,5
10,30	49,5	13,0	43,0	14,0	34,1

– Parâmetros de Compressibilidade

Os resultados dos ensaios de adensamento, apresentados no Quadro 31, foram obtidos de Giacheti (1991).

QUADRO 31 - Parâmetros de compressibilidade – EESC - USP

Profundidade (m)	σ_v (kPa)	e_0	C_c	σ_{ad} (kPa)	OCR
1,40	21	1,05	0,35	26	1,24
3,05	47	1,02	0,39	50	1,06
4,10	72	0,86	0,31	74	1,03
6,80	111	0,67	0,25	170	1,53
8,85	138	0,58	0,12	190	1,38

– Colapsibilidade

A colapsibilidade do solo da região de São Carlos foi primeiramente estudada por Vilar (1979), que realizou ensaios de adensamento em amostras coletadas em três locais da área urbana.

Na Figura 43 encontram-se dados mais recentes de Machado (1998), nos quais o aumento das tensões de pré-adensamento, σ'_{ad} , e no índice de compressão, C_c , com o aumento da sucção, s , são típicos de solos colapsíveis. As curvas aqui apresentadas referem-se aos ensaios realizados nas profundidades de 2m, 4m e 8m. Esses dados indicam a provável colapsibilidade do solo até oito metros.

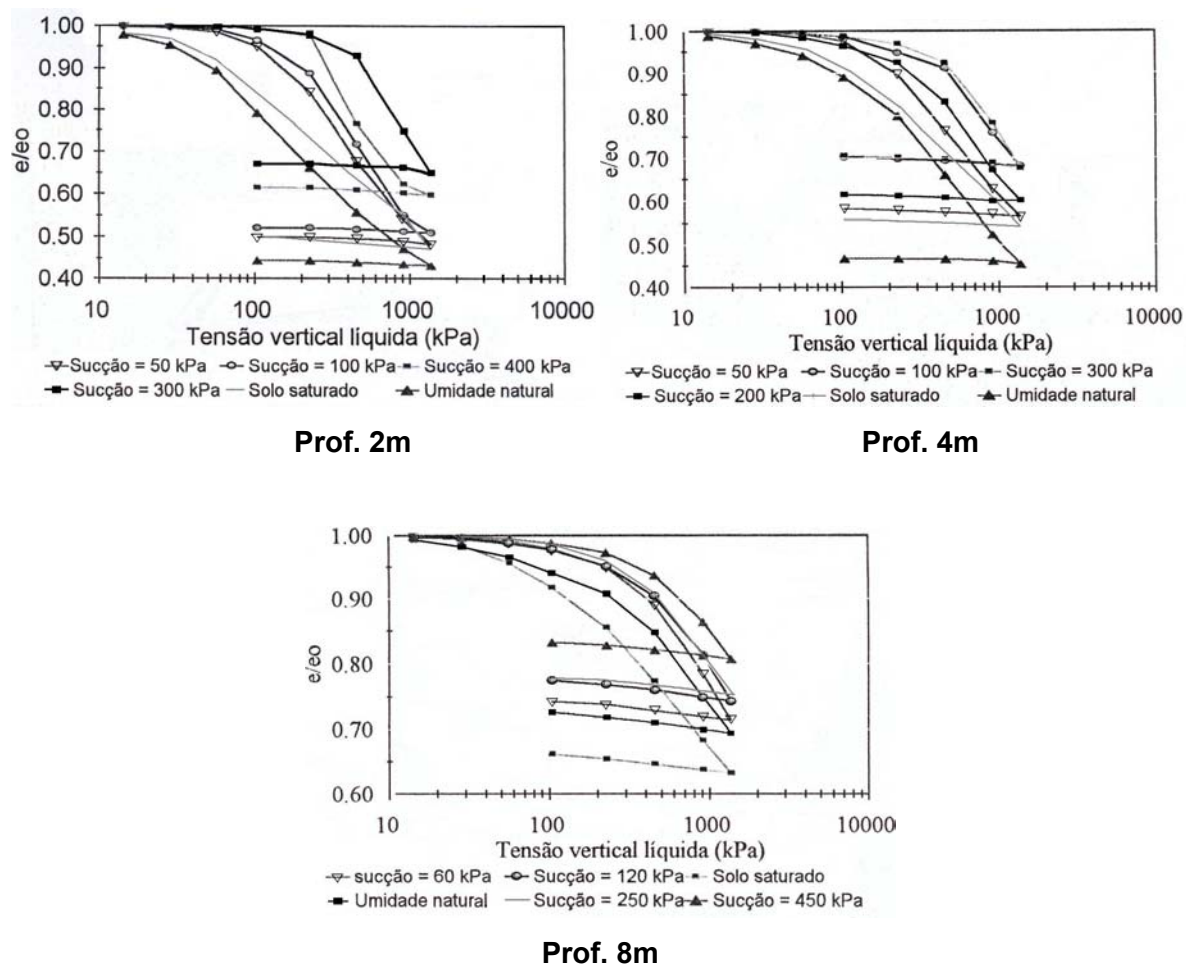


FIGURA 43 - Curvas de compressão confinada *apud* Machado (1998)

5.3.3 – Resultados dos Ensaio *SPT-T*

Foram executados cinco furos de sondagem perfazendo um total de 87,82 metros ensaiados entre os dias 19 e 29 de abril, com uma variação de temperatura entre 20°C e 34°C. As sondagens foram executadas a profundidades um pouco maiores que as da fundação a que se referem. A Figura 44 apresenta a locação dos furos, a Figura 45, os perfis de sondagem, e o Quadro 32, o resumo desses dados.

QUADRO 32 - Profundidade das sondagens e fundações

Sondagem		Fundação	
Furo	Profundidade (m)	Tipo	Profundidade (m)
SP 01	18,45	Raiz	16,00
SP 02	15,45	Escavada	14,00
SP 03	15,45	Tubulão	8,00
SP 04	10,46	Tubulão, Broca e Apiloada	9,00, 8,00 e 6,00
SP 05	28,01	Metálica Trilho - TR68	27,00

Os Quadros de 33 a 36 e as Figuras de 46 a 49 apresentam os resultados obtidos dos ensaios.

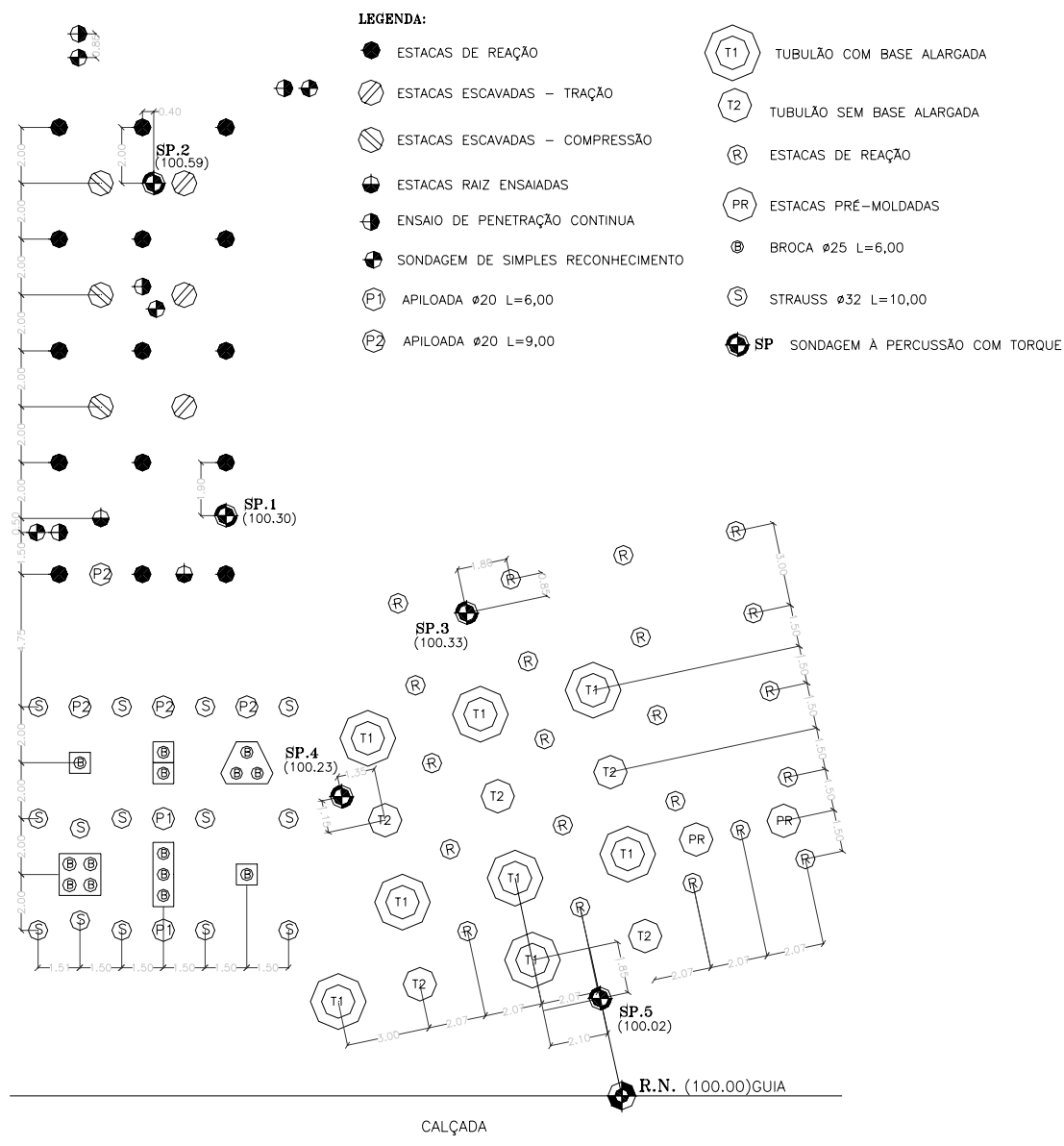


FIGURA 44 - Localização dos furos de sondagem da EESC – USP

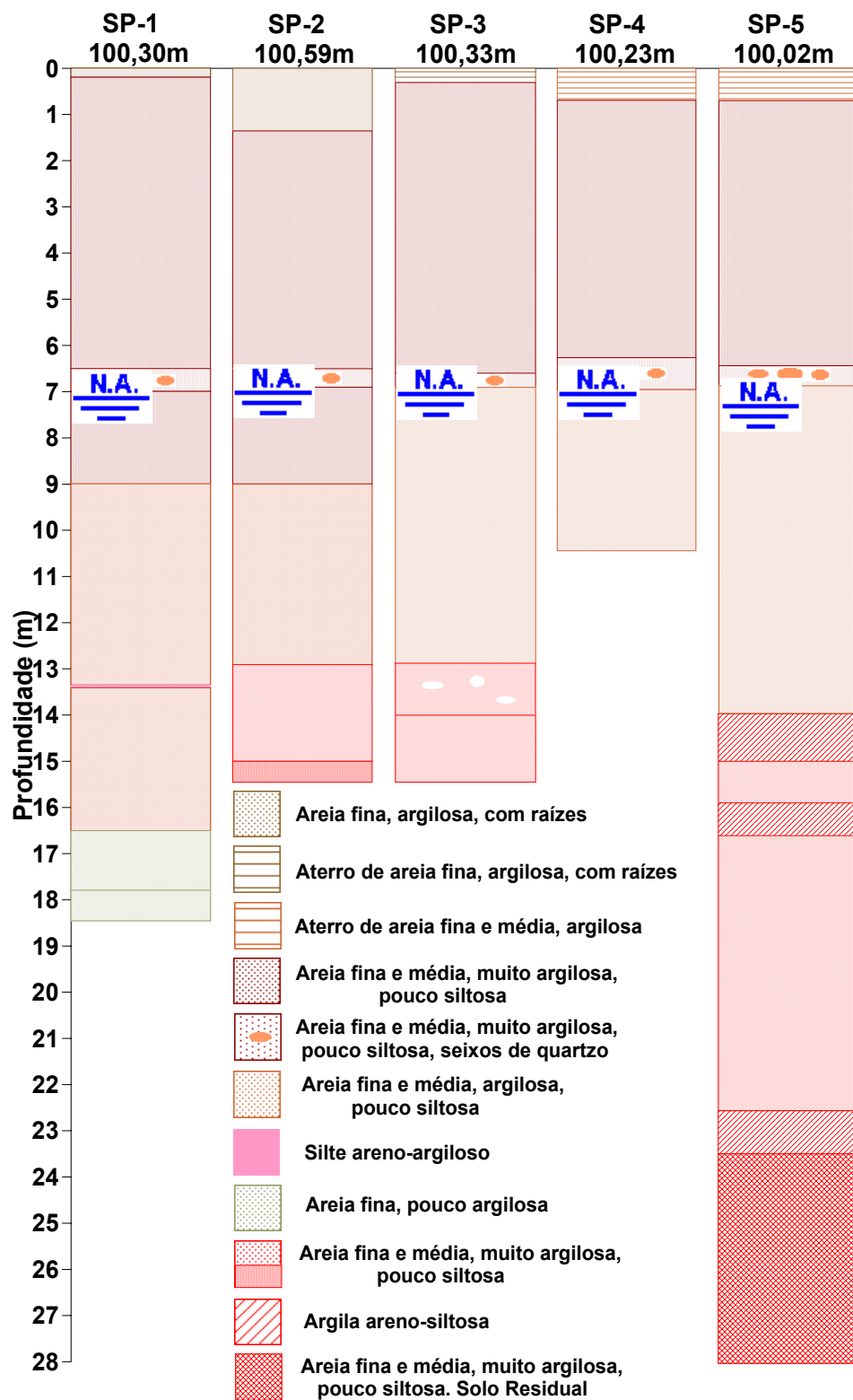


FIGURA 45 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da EESC - USP

QUADRO 33 - Valores N – EESC - USP

Profundidade (m)	$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$N5$	$\bar{N}$	sd	cv (%)
1	1,7	3,2	2,0	2,1	1,8	2,15	0,61	28,35
2	1,0	1,8	1,8	1,2	2,0	1,54	0,42	27,39
3	1,9	1,9	1,7	1,2	2,1	1,76	0,34	19,25
4	3,3	4,0	2,0	2,0	2,9	2,85	0,87	30,43
5	3,0	4,0	1,7	1,1	2,0	2,36	1,14	48,29
6	3,0	2,5	2,1	2,4	3,3	2,67	0,50	18,67
7	2,1	2,8	2,0	2,9	2,0	2,36	0,46	19,42
8	2,3	3,8	3,4	4,8	4,8	3,81	1,08	28,19
9	5,8	6,4	5,0	4,0	4,8	5,19	0,91	17,43
10	5,4	6,0	7,0	6,8	7,0	6,43	0,72	11,26
11	6,6	6,0	7,0		7,2	6,70	0,55	8,13
12	8,6	9,0	8,0		9,7	8,81	0,71	8,04
13	7,2	7,2	9,0		4,0	6,87	2,09	30,36
14	9,7	13,0	13,0		11,0	11,67	1,63	13,95
15	11,8	11,0	10,0		11,0	10,95	0,73	6,70
16	16,0				11,0	13,50		
17	7,2				12,6	9,91		
18	10,0				19,4	14,68		
19					12,0			
20					10,0			
21					13,0			
22					7,0			
23					7,7			
24					37,0			
25					55,9			
26					93,8			
27					75,0			

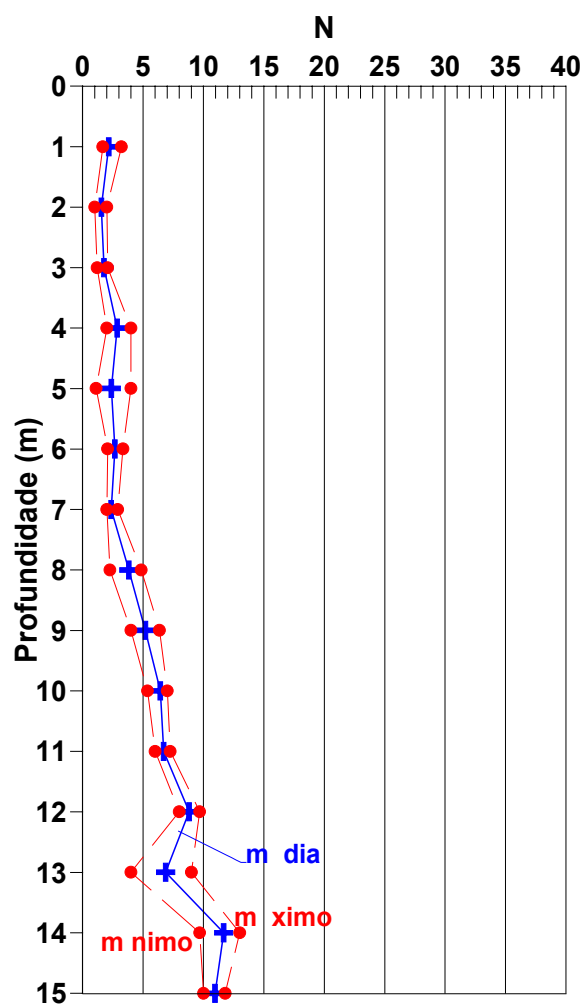


FIGURA 46 - Valores médios, máximos e mínimos de N – EESC - USP

**QUADRO 34 - Valores $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico
EESC - USP**

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	$\bar{T}$	sd	cv
	$TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) TE_{res} (kgf.m)							
1	3,30 1,30	2,63 0,61	1,62 0,67	3,12 0,62	2,26 0,27	2,59 0,69	0,68 0,37	26,20 53,92
2	3,63 1,22	3,78 2,12	3,10 1,36	5,82 1,75	1,55 0,46	3,58 1,38	1,53 0,62	42,89 45,14
3	5,63 3,58	3,79 2,85	3,94 2,23	3,04 2,07	2,85 0,89	3,85 2,32	1,10 1,00	28,56 42,94
4	8,21 5,10	4,49 2,28	4,24 2,26	4,26 2,70	4,33 1,93	5,11 2,85	1,74 1,28	34,04 45,02
5	6,42 3,04	3,35 2,42	3,44 1,81	3,98 2,97	4,44 1,98	4,33 2,44	1,25 0,56	28,91 22,87
6	3,90 1,43	4,08 1,99	3,02 2,02	5,14 2,17	4,11 2,28	4,05 1,98	0,75 0,33	18,63 16,58
7	3,59 2,86	4,28 3,56	3,44 2,79	4,63 3,73	3,57 2,64	3,90 3,12	0,52 0,49	13,40 15,82
8	4,01 2,85	6,27 4,48	5,69 4,34	6,18 4,42	7,55 4,92	5,94 4,20	1,28 0,79	21,54 18,77
9	7,19 4,22	8,29 4,84	9,54 6,25	6,25 4,26	7,25 4,71	7,70 4,86	1,25 0,83	16,29 17,00
10	6,35 3,88	7,99 4,75	11,57 6,79	9,41 6,24	12,08 7,68	9,48 5,87	2,41 1,54	25,38 26,23
11	9,47 6,17	8,83 5,69	14,03 8,28		13,43 9,33	11,44 7,37	2,67 1,73	23,33 23,42
12	14,62	14,31 10,27	11,36 7,97		14,89 10,60	13,80 9,61	1,64 1,43	11,89 14,90
13	12,18 7,95	8,16 5,53	17,13 11,50		7,85 6,57	11,33 7,89	4,34 2,60	38,31 33,02
14	21,10 14,35	20,30 12,81	24,21 17,47		20,12 14,59	21,43 14,81	1,90 1,94	8,87 13,13
15		18,45 13,36	21,61 14,62		23,80 15,19	21,29 14,39	2,69 0,94	12,64 6,51
16	34,85 23,44				22,32 15,25	28,59 19,35		
17	16,13 10,37				31,46 19,22	23,80 14,80		
18	24,91 18,38							
19					28,47 14,98			
20					26,97 14,18			
21					30,19 18,30			
22					19,72 8,32			
23					11,66 8,33			
24					40,22 32,52			
25					65,48 48,92			
26								
27					67,68 47,95			

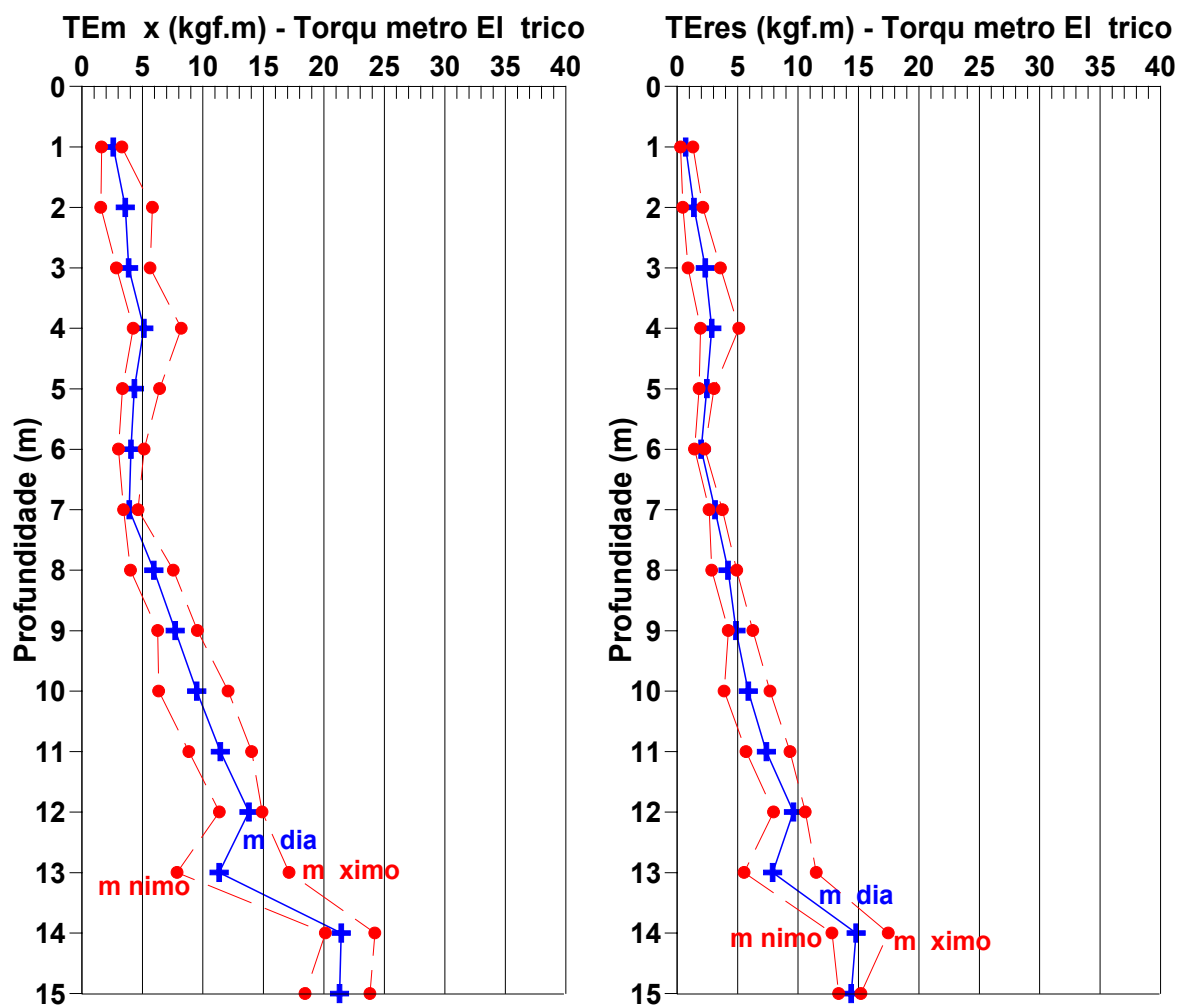


FIGURA 47 - Valores médios, máximos e mínimos de $TE_{máx}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico – EESC - USP

**QUADRO 35 - Valores $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico
EESC - USP**

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	$\bar{T}$	sd	cv
	$T_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) T_{res} (kgf.m)							
1	2,8 1,4	2,9 1,0	1,4 0,9	3,0 1,5	2,3 0,9	2,47 1,14	0,68 0,29	27,32 25,25
2	3,6 2,0	3,6 2,8	2,5 2,1	3,8 1,9	4,3 2,2	3,56 2,18	0,69 0,36	19,39 16,72
3	5,5 4,0	3,7 3,3	4,0 2,8	2,2 3,1	2,3 0,9	3,55 2,81	1,37 1,14	38,64 40,45
4	7,7 4,8	4,0 3,5	3,5 3,0	4,2 3,3	4,3 1,9	4,72 3,31	1,67 1,03	35,48 31,18
5	6,3 3,6	2,9 2,5	3,3 2,5	3,9 3,5	4,3 2,2	4,16 2,83	1,31 0,65	31,56 22,95
6	3,3 1,7	3,9 2,2	3,2 2,8	4,2 2,1	4,4 2,5	3,80 2,22	0,53 0,42	14,08 18,74
7	3,8 3,0	3,8 3,8	1,4 0,9	4,2 3,8	3,5 2,7	3,33 2,80	1,14 1,17	34,10 41,69
8	4,1 3,3	5,6 4,2	5,4 4,5	5,9 4,4	7,2 4,8	5,63 4,24	1,11 0,58	19,61 13,65
9	8,0 4,5	8,4 4,7	8,0 5,5	6,0 5,0	7,0 4,7	7,49 4,88	0,98 0,39	13,10 8,04
10	5,9 3,4	7,8 4,4	11,0 6,5	9,8 6,9	9,0 6,5	8,70 5,53	1,96 1,53	22,50 27,63
11	10,5 6,7	8,3 4,9	13,7 8,8		12,0 9,0	11,14 7,35	2,28 1,94	20,49 26,41
12	13,7 9,8	13,7 9,8	10,8 7,3		13,7 10,3	12,97 9,29	1,47 1,32	11,34 14,23
13	11,0 8,0	7,8 5,4	17,0 12,0		7,7 6,7	10,87 8,02	4,36 2,86	40,14 35,67
14	20,1 14,4	21,0 14,0	21,0 17,5		18,0 14,5	20,03 15,09	1,42 1,62	7,07 10,74
15	21,0 17,0	18,0 14,5	19,0 14,5		24,5 14,7	19,00 15,13	1,41 1,25	7,44 8,26
16	30,0 21,0				23,0 16,0	26,50 18,50		
17	14,0 10,0				34,2 23,5	24,12 16,74		
18	25,0 20,0							
19					26,8 13,4			
20					25,0 14,0			
21					28,5 17,0			
22					18,6 8,3			
23					9,8 6,4			

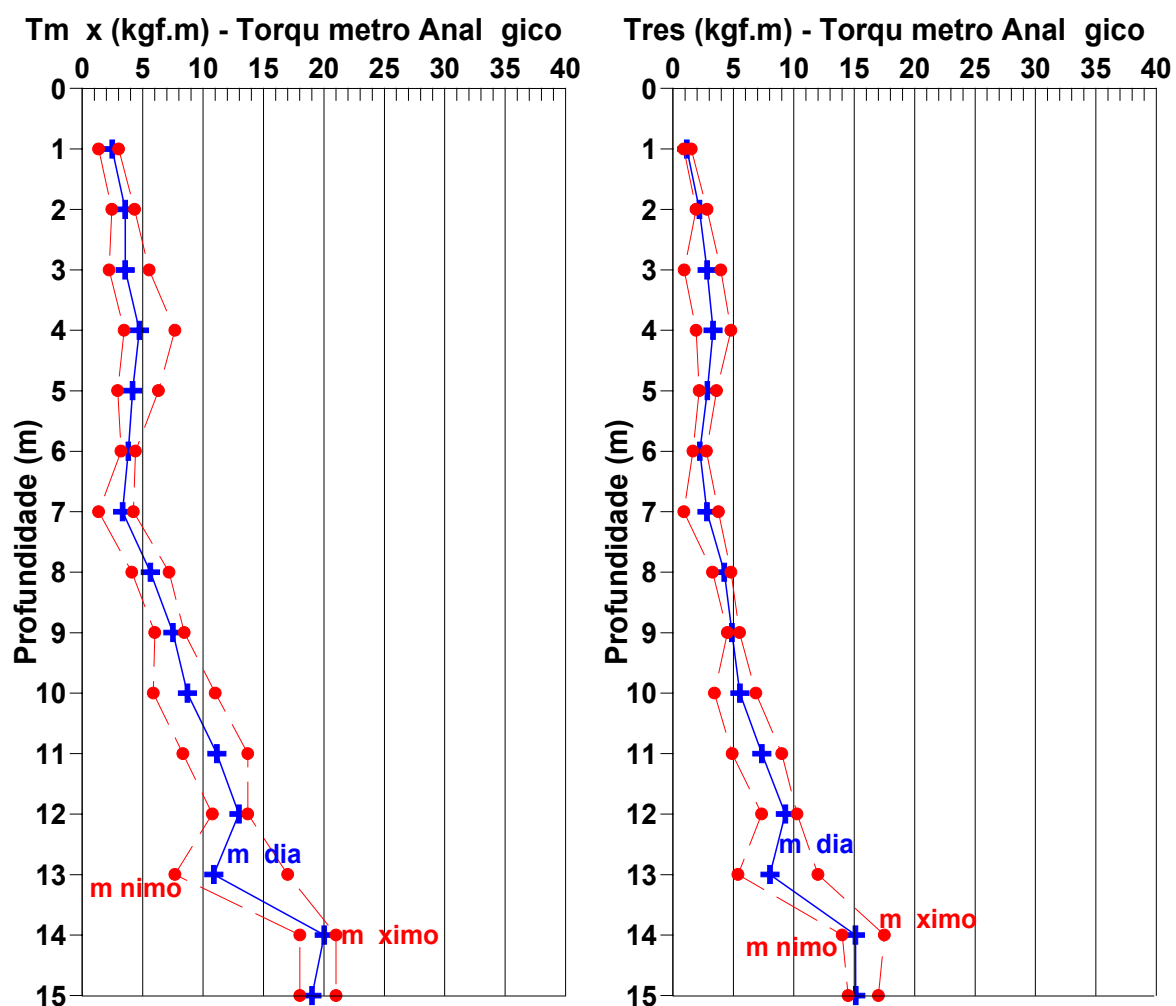


FIGURA 48 - Valores médios, máximos e mínimos de $T_{máx}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – EESC - USP

QUADRO 36 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do SPT-T – EESC - USP

Profundidade (m)	w1	w2	w3	w4	w5	$\bar{w}$	sd	cv
1	18,1	13,7	14,2	14,8	13,9	14,94	1,81	12,15
2	16,7	15,9	15,3	16,3	14,8	15,80	0,76	4,82
3	18,7	17,3	16,2	17,7	16,2	17,22	1,06	6,16
4	17,4	15,9	16,7	19,0	17,3	17,26	1,14	6,61
5	17,7	17,1	17,8	19,2	18,2	18,00	0,78	4,32
6	17,9	19,5	20,8	15,3	17,6	18,22	2,08	11,42
7	20,3	19,5	20,7	20,5	21,2	20,44	0,62	3,05
8	20,4	18,4	18,9	18,6	20,2	19,30	0,93	4,83
9	21,4	19,3	20,4	20,2	22,2	20,70	1,12	5,42
10	20,7	20,8	21,6	16,3	21,1	20,10	2,15	10,71
11	22,4	22,0	22,4		23,2	22,50	0,50	2,24
12	25,1	22,7	22,4		24,5	23,68	1,33	5,61
13	26,1	34,0	27,4		25,1	28,15	4,01	14,25
14	27,4	29,1	39,6		31,2	31,83	5,41	17,00
15	20,7	22,3	26,2		21,1	22,58	2,51	11,12
16	31,3				29,9	30,60	0,99	3,24
17	21,9				19,4	20,65	1,77	8,56
18	24,3				19,8	22,05	3,18	14,43
19					20,6			
20					20,9			
21					20,4			
22					23,0			
23					53,1			
24					29,5			
25					25,1			
26					22,5			
27					24,1			

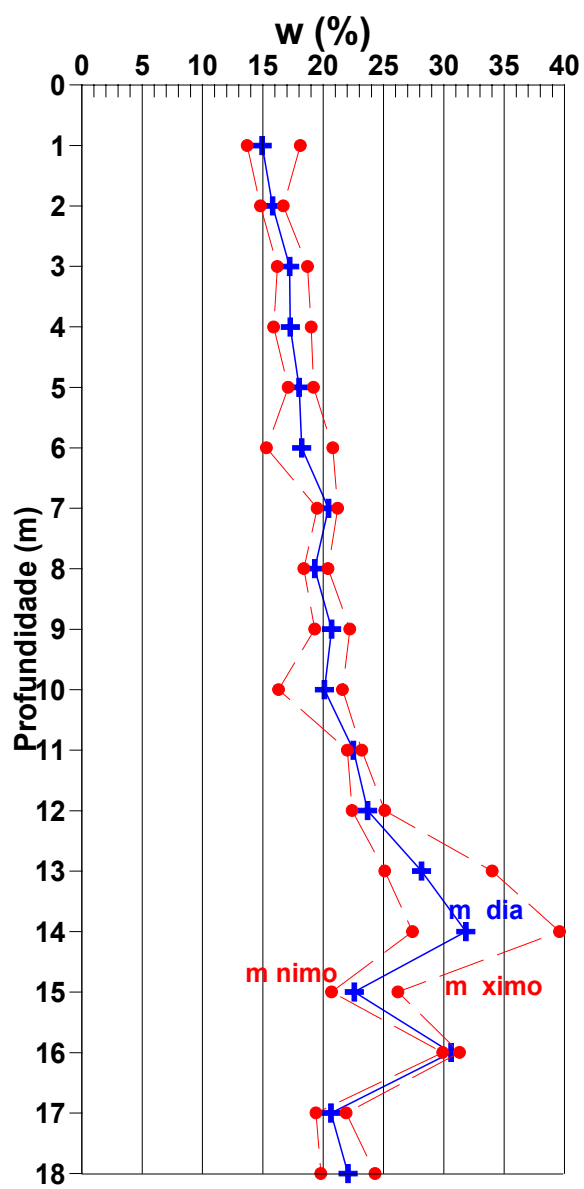


FIGURA 49 - Valores médios, máximos e mínimos dos teores-de-umidade
EESC - USP

5.3.4 – Resultados dos Ensaios *CPT*

Foram executados cinco furos de ensaios *CPT* elétrico em São Carlos. Aqui estão apresentados na Figura 50 apenas os furos CE.3, CE.4 e CE.5 porque são aqueles que cobrem a área onde foram executados os *SPT-T*.

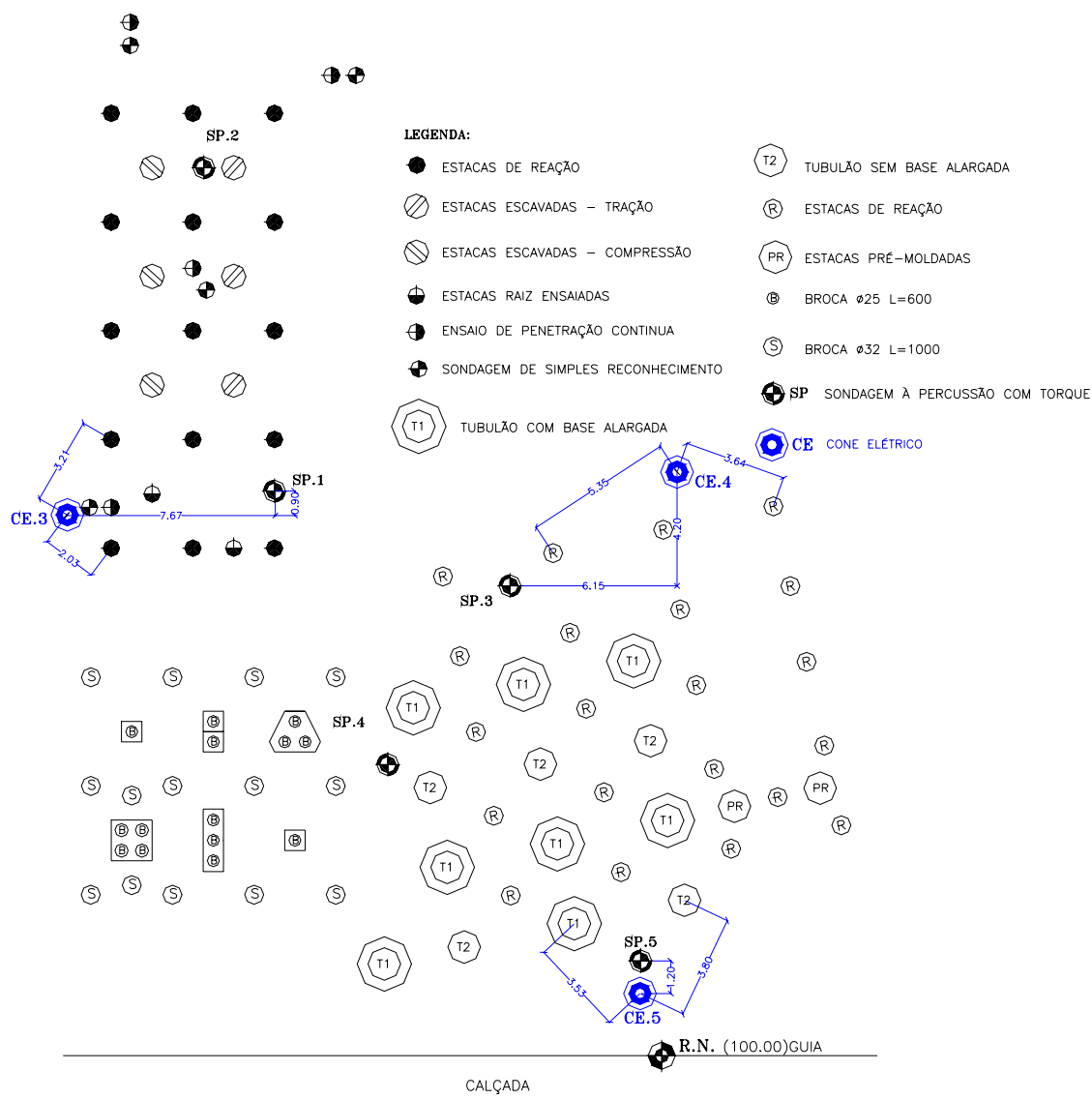


FIGURA 50 - Localização dos Ensaios CPT – EESC – USP

Os resultados dos três furos estão apresentados na Figura 51 e no Quadro 37, seguindo a mesma metodologia adotada para os ensaios executados no Campo Experimental da Unicamp.

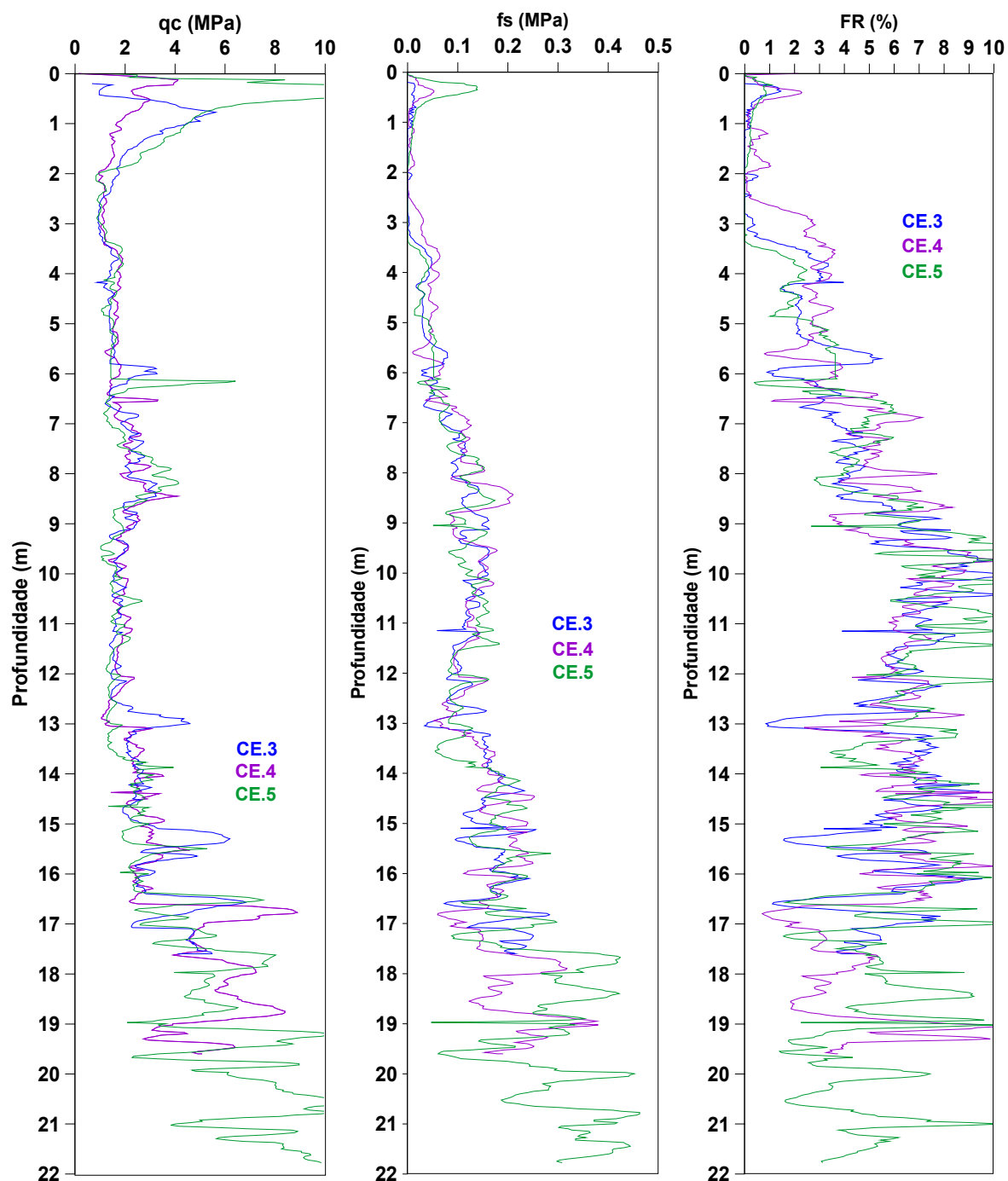


FIGURA 51 - Resultados de Ensaios CPT – EESC – USP

QUADRO 37 - Resultados médios dos ensaios de Cone Elétrico – EESC - USP

Prof. (m)	CE.3			CE.4			CE.5		
	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)
1,00-1,45	3,27	0,00	0,05	1,59	0,01	0,43	3,91	0,01	0,23
2,00-2,45	1,49	0,00	0,13	1,09	0,00	0,10	1,03	0,00	0,00
3,00-3,45	1,06	0,01	0,66	1,15	0,03	2,73	1,27	0,00	0,04
4,00-4,45	1,33	0,03	2,37	1,72	0,05	2,94	1,53	0,03	1,89
5,00-5,45	1,47	0,04	2,43	1,63	0,05	2,77	1,53	0,05	3,25
6,00-6,45	1,87	0,05	2,75	1,47	0,05	3,66	2,78	0,05	2,47
7,00-7,45	2,30	0,10	4,16	2,29	0,12	5,08	1,79	0,09	5,02
8,00-8,45	2,87	0,12	4,14	2,67	0,15	5,71	3,44	0,13	3,80
9,00-9,45	1,92	0,12	6,60	1,98	0,10	5,26	1,64	0,13	8,23
10,00-10,45	1,66	0,14	8,55	1,94	0,15	7,59	1,60	0,14	8,56
11,00-11,45	1,57	0,12	7,34	1,98	0,13	6,55	1,89	0,15	8,28
12,00-12,45	1,58	0,10	6,47	1,92	0,13	6,53	1,46	0,11	7,40
13,00-13,45	2,59	0,12	5,28	2,19	0,11	5,15	1,45	0,10	6,85
14,00-14,45	2,58	0,20	7,65	2,70	0,18	6,70	2,61	0,19	7,30
15,00-15,45	4,90	0,16	3,49	3,03	0,22	7,14	2,29	0,15	6,78
16,00-16,45	2,80	0,19	7,06	2,58	0,18	6,92	2,90	0,19	7,15
17,00-17,45	4,17	0,21	5,03	4,82	0,13	2,80	4,28	0,17	4,40
18,00-18,45				6,11	0,18	3,03	5,08	0,34	6,80
19,00-19,45				3,99	0,27	7,21	7,61	0,26	4,00
20,00-20,45							7,81	0,31	4,16
21,00-21,45							7,51	0,37	5,03

5.4 – CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA – UNESP – BAURU (SP)

5.4.1 – Caracterização Geológica

A região de Bauru é constituída, predominantemente, por sedimentos do Grupo Bauru (Formações Marília e Adamantina), recobrimdo as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral que afloram em direção ao vale do Rio Tietê.

A geologia do Campo Experimental é a mesma que predomina na cidade de Bauru. Através de um poço tubular, aberto a 100m do local, pode-se constatar uma primeira camada de 52m da Formação Marília, seguida de 98m da Formação Adamantina e, abaixo, encontra-se a Formação Serra Geral.

A Formação Marília é constituída por arenitos, conglomerados e lamitos, intercalados entre si. A Formação Adamantina é composta por arenitos de granulação média a fina, siltitos arenoso, micáceos, arenitos micáceos, argilitos e arenitos conglomeráticos.

5.4.2 – Caracterização Geotécnica

A caracterização do subsolo do Campo Experimental, até a profundidade de 20m, é de uma areia fina argilosa, vermelha, residual de arenito.

Os resultados dos ensaios de laboratório foram obtidos de Agnelli (1997).

– Ensaios de Caracterização

Os resultados dos ensaios de caracterização: limites de consistência e granulometria, encontram-se no Quadro 38.

– Índices Físicos

Os índices físicos estão apresentados no Quadro 39.

QUADRO 38 - Resultados do ensaios de Caracterização – Unesp – Bauru

Profundidade (m)	Limites de Consistência		Granulometria			
	<i>LL</i> (%)	<i>LP</i> (%)	argila (%)	silte (%)	areia f. (%)	areia m. (%)
1	17	13	15	4	9	72
2	22	13	18	3	6	73
3	22	14	16	4	8	72
4	23	13	16	3	7	74
5	24	14	18	4	7	71
6	27	15	19	3	6	72
7	26	14	19	3	6	72
8	27	14	19	3	6	72
9	25	13	19	5	6	70
10	25	10	20	6	5	69
11	25	12	20	4	7	69
12	26	12	19	4	6	71
13	26	12	19	4	6	71
14	26	12	18	4	8	70
15	29	14	21	5	7	67
16	23	12	16	2	9	73
17	34	17	31	17	3	49
18	42	24	36	10	2	52
19	27	11	16	6	7	71
20	26	11	16	5	10	69

QUADRO 39 - Valores de Índices Físicos – Unesp - Bauru

Profundidade (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	<i>w</i> (%)	<i>e</i>	<i>n</i> (%)	<i>Sr</i> (%)
1	15,0	26,6	13,7	9,1	0,94	48	26
2	15,4	26,9	14,0	10,3	0,93	48	30
3	15,7	26,8	14,2	10,4	0,88	47	32
4	16,3	26,5	15,0	9,0	0,77	44	30
5	16,5	26,5	14,9	10,7	0,78	44	36
6	16,4	26,6	14,6	12,3	0,82	45	40
7	16,5	26,7	14,8	11,5	0,80	44	38
8	16,6	26,9	14,9	11,3	0,80	44	38
9	16,5	26,9	14,8	11,2	0,81	45	37
10	16,6	26,9	15,0	10,7	0,79	44	36
11	16,5	26,9	15,2	8,6	0,77	44	30
12	16,6	27,0	15,3	8,4	0,76	43	30
13	16,4	26,9	15,1	8,4	0,78	44	29
14	16,3	26,9	14,9	9,1	0,80	44	31
15	16,2	26,5	14,7	10,5	0,81	45	34
16	16,5	26,6	15,0	9,9	0,77	44	34
17	17,1	27,0	14,6	17,2	0,85	46	55
18	18,6	26,7	14,7	26,5	0,82	45	87
19	16,6	26,7	14,9	11,8	0,80	44	39
20	16,4	26,7	14,7	11,7	0,82	45	38

- *Parâmetros de Resistência*

Os parâmetros apresentados no Quadro 40 referem-se a ensaios executados em três locais da região de Bauru e são representativos do Campo Experimental.

QUADRO 40 - Parâmetros de resistência - Bauru

Local	Prof. (m)	c (kPa)	ϕ (°)	Rc (kPa)
1	1,5	-	32	13
2	2,5	14	31	23
3	3,5	22	20	56
1	4,5	24	28	15
2	5,5	14	29	80
1	7,5	20	29	87
3	7,5	-	32	107
2	8,5	35	28	94
1	10,5	16	30	93
3	10,5	14	29	100
1	12,5	49	25	245
2	12,5	26	29	87
3	13,5	-	32	86
3	15,5	18	30	36

- *Parâmetros de Compressibilidade*

Agnelli (1997) realizou ensaios de adensamento em corpos-de-prova correspondentes às profundidades 1, 2, 3 e 4 metros, cujas tensões de pre-adensamento foram obtidas através do método de Pacheco Silva, Quadro 41.

Através de outros ensaios realizados na região por Giacheti (1991), pode-se constatar que, a partir de seis metros de profundidade, o OCR tende a diminuir para normalmente adensado.

QUADRO 41 - Parâmetros de compressibilidade para a Unesp – Bauru

Profundidade (m)	σ_v (kPa)	σ_{ad} (kPa)	OCR
1	15	41	2,73
2	30	52	1,73
3	46	90	1,96
4	62	105	1,69

- Colapsibilidade

No Quadro 42 estão apresentados os coeficientes de colapso estrutural de Vargas, sendo que o corpo-de-prova foi inundado com água potável, *ph* 7.

QUADRO 42 - Coeficiente de colapso estrutural de Vargas para a Unesp – Bauru

Profundidade (m)	Tensão de inundação (kPa)	i (%)
1	50	3,3
2	50	3,2
3	50	2,3
4	50	2,6

5.4.3 – Resultados dos Ensaios *SPT-T*

Foram executados cinco furos de sondagem *SPT-T*, entre os dias 03 e 14 de maio de 1999, totalizando 75,26 metros. A temperatura média nesse período foi de 23,8°C. A locação do Campo Experimental da FET, Unesp, encontra-se na Figura 52.

Os perfis de cada uma das sondagens realizadas nesta pesquisa estão apresentados na Figura 53.

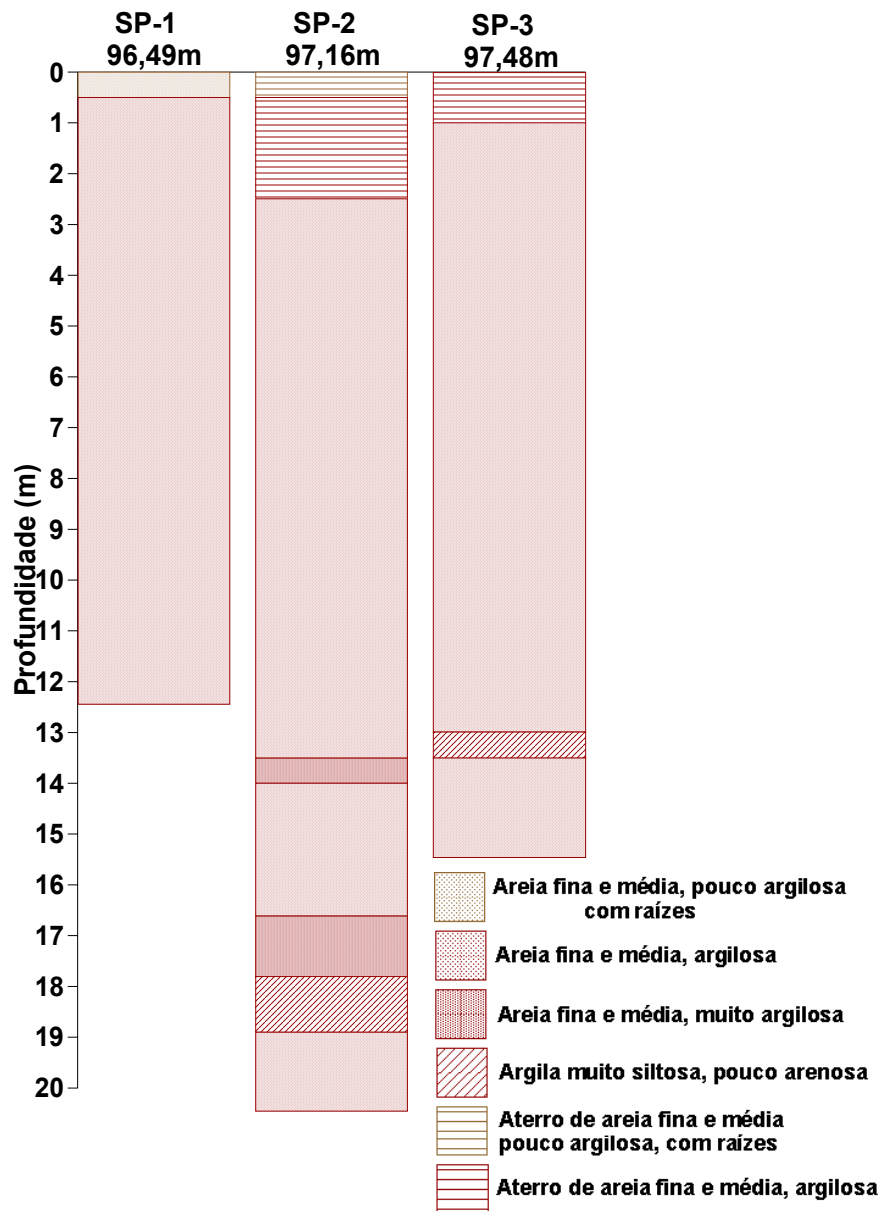


FIGURA 53 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da Unesp – Bauru

Foram realizados três ensaios *SPT-T* na segunda área SP01, SP02 e SP03, com comprimentos de 12,46m, 20,45m e 15,45m, respectivamente. O tipo

de fundação ensaiada nesse local foi a de estaca Apiloadada, com profundidades variando entre 4,0m e 12,0m. O SP03 foi executado com 20,45m para melhor caracterizar o perfil do local.

Os resultados dos ensaios *SPT-T* estão apresentados nos Quadros de 43 a 46 e nas Figuras 54 a 56.

QUADRO 43 - Valores *N* – Unesp - Bauru

Profundidade (m)	<i>N</i>1	<i>N</i>2	<i>N</i>3	$\bar{N}$	sd	cv (%)
0,5	1,4	1,0	3,9	2,08	1,56	75,29
1	2,1	0,9	2,1	1,70	0,71	41,74
2	0,6	1,0	2,1	1,23	0,82	66,63
3	1,5	0,7	2,7	1,61	0,99	61,89
4	1,5	4,4	3,3	3,08	1,51	48,95
5	1,6	1,4	1,9	1,66	0,26	15,50
6	3,9	3,6	4,1	3,88	0,23	5,84
7	4,1	4,4	3,6	4,06	0,43	10,48
8	5,5	4,7	4,0	4,71	0,73	15,39
9	6,0	2,9	7,0	5,30	2,14	40,34
10	6,6	7,0	6,0	6,52	0,50	7,69
11	7,0	6,0	7,0	6,67	0,58	8,66
12	7,7	7,0	9,0	7,91	1,01	12,78
13		8,0	19,0	13,50	7,78	57,62
14		9,7	13,0	11,34		
15		12,0	11,0	11,50		
16		11,0				
17		12,0				
18		23,0				
19		18,0				
20		18,0				

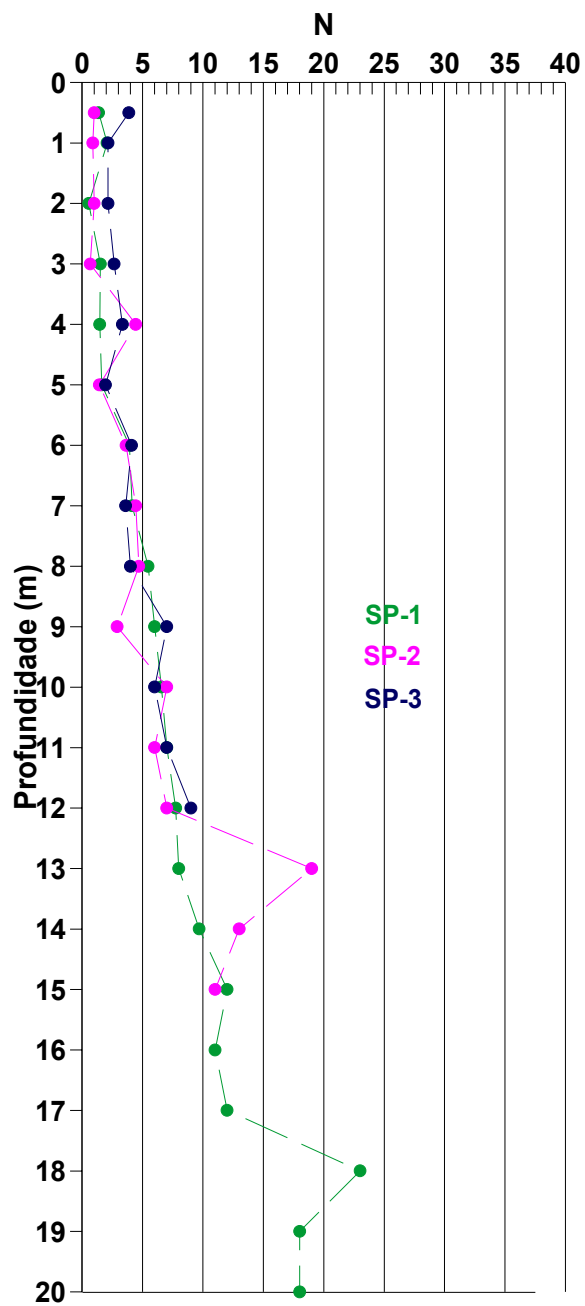


FIGURA 54 - Índices de resistência N – Unesp - Bauru

QUADRO 44 - Valores $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico Unesp - Bauru

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	$\bar{T}$	sd	cv (%)
	$TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) TE_{res} (kgf.m)					
0,5	5,37 0,26	4,67 0,90	5,01 0,37	5,02 0,51	0,35 0,34	6,98 67,10
1	0,94 0,32		1,49 0,27	1,22 0,30	0,39 0,04	32,01 11,98
2	0,71 0,16	1,09 0,28	2,19 0,20	1,33 0,21	0,77 0,06	57,79 28,64
3	1,57 0,45	2,30 0,65	1,90 0,31	1,92 0,47	0,37 0,17	19,01 36,36
4	1,71 0,63	2,06 0,63	2,21 0,59	1,99 0,62	0,26 0,02	12,87 3,74
5	1,60 0,50	2,20 0,79	1,76 0,04	1,85 0,44	0,31 0,38	16,76 85,31
6	2,72 0,61	2,55 1,07	2,51 0,53	2,59 0,74	0,11 0,29	4,30 39,56
7	2,17 0,62	2,80 0,74	2,44 0,66	2,47 0,67	0,32 0,06	12,80 9,07
8	3,66 0,64	5,29 0,94	2,93 0,86	3,96 0,81	1,21 0,16	30,51 19,10
9	3,83 1,03	2,17 0,68	3,21 0,64	3,07 0,78	0,84 0,21	27,32 27,39
10	3,60 1,38	4,80 1,83	3,94 1,45	4,11 1,55	0,62 0,24	15,04 15,59
11	3,58 1,10	3,45 1,85	4,15 1,17	3,73 1,37	0,37 0,41	9,99 3017
12	7,55 2,02	4,25 1,16	6,48 2,75	6,09 1,98	1,68 0,80	27,63 40,26
13			30,27 21,34	30,27 21,34		
14		21,00 15,44	24,27	22,64 15,44	2,31	
15		24,32	24,99 18,87	24,66 18,87	0,47	
16		24,74				
17		29,22				
18		36,62 26,60				
19		45,85 33,55				
20		37,17 24,53				

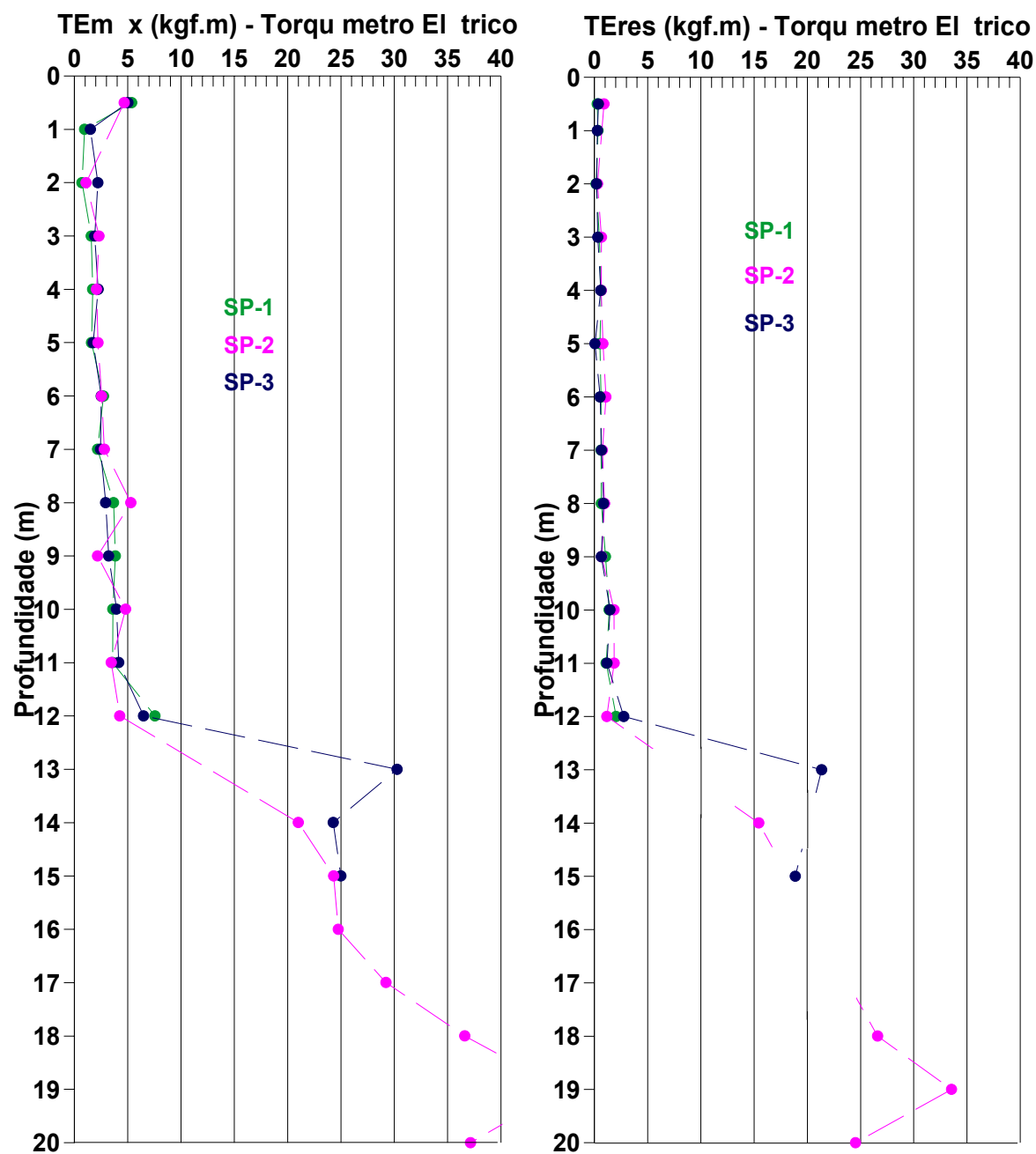


FIGURA 55 - $T_{Emáx}$ e T_{Eres} obtidos através do torquímetro elétrico – Unesp
- Bauru

QUADRO 45 - Valores $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico

Unesp - Bauru

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	$\bar{T}$	sd	cv (%)
	$T_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) T_{res} (kgf.m)					
0,5	2,5 0,5	5,0 2,0	3,9 1,0	3,80 1,16	1,25 0,77	32,96 66,04
1	0,9 0,5	0,7 0,3	0,8 0,4	0,77 0,39	0,12 0,06	15,59 15,38
2	0,4 0,0	0,7 0,4	1,4 0,9	0,84 0,43	0,52 0,48	61,66 110,48
3	1,0 0,5	2,0 1,0	1,7 0,9	1,58 0,79	0,52 0,26	32,81 32,84
4	1,5 1,0	2,0 1,2	1,8 0,9	1,74 1,02	0,24 0,15	13,51 14,33
5	1,4 1,0	2,0 1,0	1,9 1,0	1,78 0,97	0,30 0,02	16,86 2,37
6	3,0 1,0	2,3 1,4	2,5 1,0	2,61 1,14	0,34 0,24	13,17 20,83
7	1,9 1,0	2,5 1,0	2,4 1,4	2,25 1,13	0,30 0,27	13,15 24,10
8	3,3 0,9	4,8 1,4	2,5 1,0	3,52 1,13	1,16 0,27	33,04 24,23
9	4,0 1,5	0,9 0,5	3,0 1,0	2,63 0,98	1,58 0,53	60,08 53,41
10	3,4 1,9	4,5 2,0	4,0 2,0	3,95 1,97	0,58 0,05	14,60 2,64
11	4,0 2,0	3,5 2,0	4,0 2,0	3,83 2,00	0,29 0,00	7,53 0,00
12	6,4 2,0	4,0 2,0	5,9 3,4	5,41 2,46	1,25 0,83	23,02 33,81
13		11,0	30,0 23,0	20,50 23,00	13,44	
14		21,5 15,2	24,0 12,0	22,76 13,58		
15		24,0 4,5	25,0 16,0	24,50 10,25		
16		25,0 11,5				
17		29,0 13,5				
18		32,0 25,0				
19		42,0 31,0				
20		36,0 21,0				

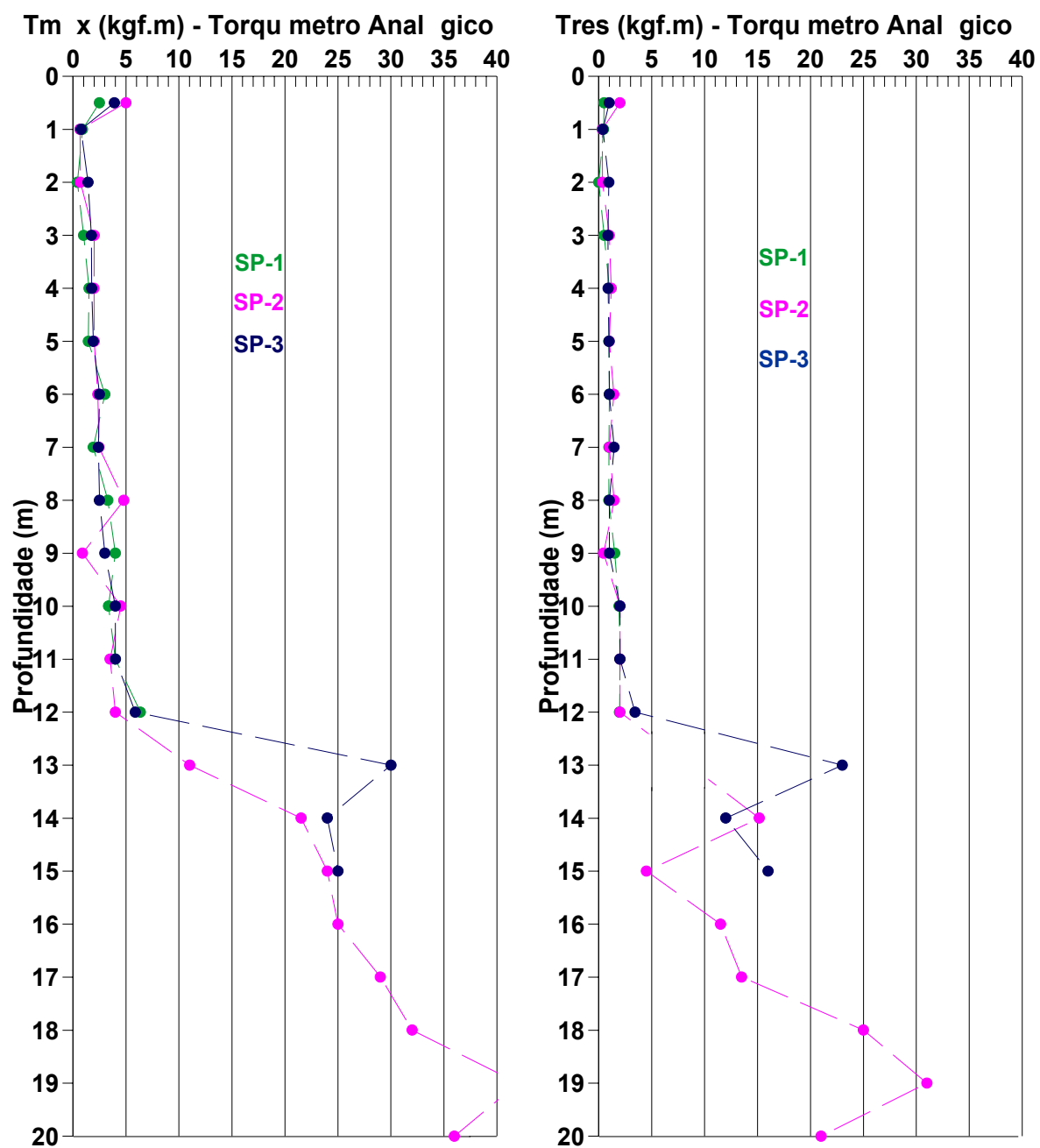


FIGURA 56 - $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – Unesp - Bauru

QUADRO 46 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do *SPT-T* – Unesp - Bauru

Profundidade (m)	w1	w2	w3	$\bar{w}_{1,2,3}$	sd _{1,2,3}	cv _{1,2,3} (%)
0,5	8,9	6,6	5,8	7,10	1,61	22,67
1	8,5	8,3	7,8	8,20	0,36	4,40
2	8,4	8,8	8,5	8,57	0,21	2,43
3	8,1	8,9	8,5	8,50	0,40	4,71
4	10,1	10,5	10,1	10,23	0,23	2,26
5	10,3	8,7	10,1	9,70	0,87	8,99
6	11,3	11,6	10,7	11,20	0,46	4,09
7	10,4	11,2	10,4	10,67	0,46	4,33
8	10,3	10,7	10,7	10,57	0,23	2,19
9	10,7	10,7	10,5	10,63	0,12	1,09
10	10,9	10,6	10,8	10,77	0,15	1,42
11	10,9	10,8	11,5	11,07	0,38	3,42
12	11,1	10,9	11,8	11,27	0,47	4,19
13		12,4	22,0	17,20	6,79	39,47
14		12,3	12,5	12,40		
15		12,1	13,5	12,80		
16		14,5				
17		9,2				
18		33,2				
19		13,2				
20		11,3				

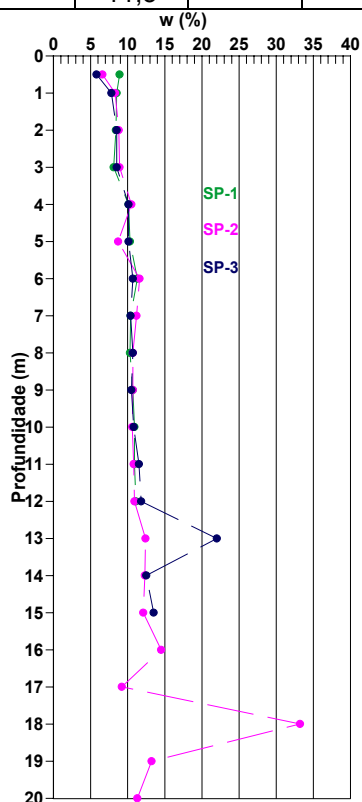


FIGURA 57 - Teores-de-umidade – Unesp – Bauru

5.4.4 – Resultados dos Ensaio *CPT*

A locação e resultados dos ensaios de penetração do cone elétrico realizados no Campo Experimental da Unesp, Bauru, estão nas Figuras 58 e 59. No Quadro 47 estão apresentados os valores médios dos resultados, em intervalos de um metro, como por exemplo, de 0,5 a 1,5 metros. Não foi adotada a mesma metodologia dos Campos Experimentais da Unicamp e da EESC porque, aqui, os ensaios não estão nivelados.

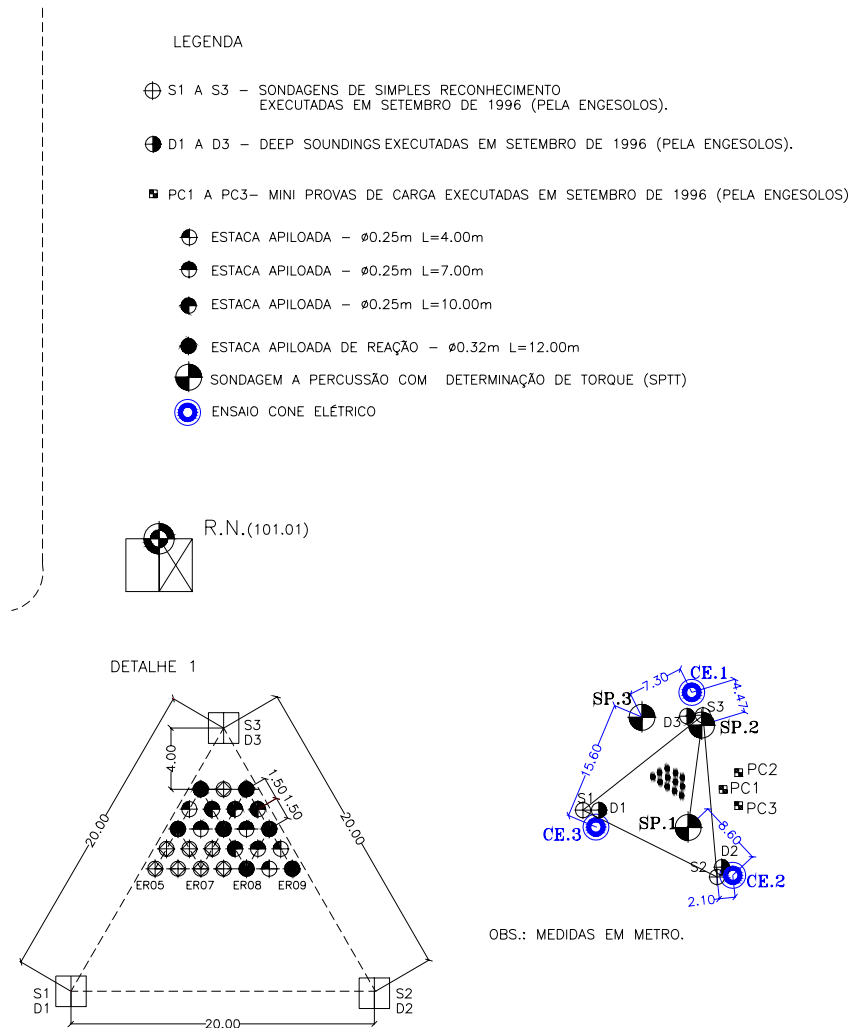


FIGURA 58 - Locação dos ensaios *CPT* – Unesp - Bauru

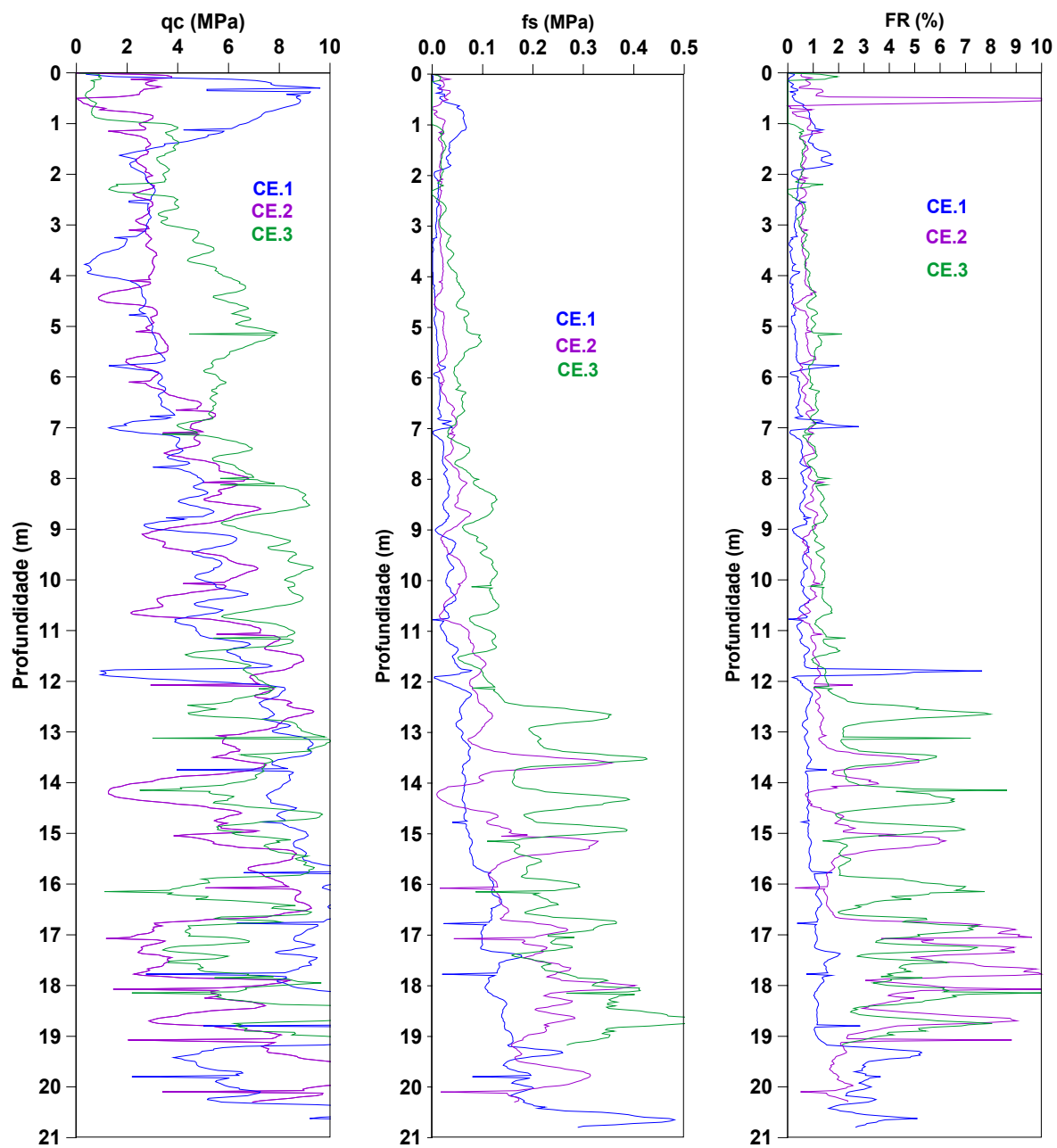


FIGURA 59 - Resultados de ensaios CPT – Unesp - Bauru

QUADRO 47 - Resultados médios dos ensaios de Cone Elétrico – Unesp - Bauru

Prof. (m)	CE.1			CE.2			CE.3			CE. médio		
	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)
0,5-1,5	6,43	0,05	0,83	2,05	0,02	4,07	2,33	0,01	0,26	3,603	0,027	1,720
1,5-2,5	2,59	0,02	0,80	2,68	0,02	0,63	3,11	0,02	0,48	2,793	0,020	0,637
2,5-3,5	2,51	0,01	0,28	2,77	0,02	0,57	4,17	0,02	0,58	3,150	0,017	0,477
3,5-4,5	1,50	0,00	0,18	2,54	0,02	0,72	5,62	0,05	0,84	3,220	0,023	0,580
4,5-5,5	2,89	0,01	0,26	3,01	0,02	0,68	6,75	0,07	1,08	4,217	0,033	0,673
5,5-6,5	3,16	0,01	0,49	3,03	0,02	0,70	5,52	0,05	0,98	3,903	0,027	0,723
6,5-7,5	3,27	0,02	0,63	4,72	0,04	0,89	5,37	0,05	0,95	4,453	0,037	0,823
7,5-8,5	4,43	0,03	0,62	5,52	0,05	0,88	7,20	0,08	1,15	5,717	0,053	0,883
8,5-9,5	4,78	0,03	0,58	4,70	0,04	0,87	7,51	0,09	1,25	5,663	0,053	0,900
9,5-10,5	5,46	0,04	0,65	5,49	0,05	0,95	8,67	0,12	1,37	6,540	0,070	0,990
10,5-11,5	5,27	0,03	0,56	6,08	0,06	0,87	7,20	0,11	1,51	6,183	0,067	0,980
11,5-12,5	6,04	0,05	1,26	7,74	0,09	1,19	6,64	0,11	1,65	6,807	0,083	1,367
12,5-13,5	8,38	0,06	0,73	7,22	0,11	1,53	7,81	0,26	3,78	7,803	0,143	2,013
13,5-14,5	7,93	0,06	0,82	4,06	0,12	2,36	6,39	0,26	4,16	6,127	0,147	2,447
14,5-15,5	8,58	0,07	0,83	6,25	0,19	3,13	7,73	0,22	3,12	7,520	0,160	2,360
15,5-16,5	10,19	0,11	1,11	8,06	0,13	1,57	6,64	0,22	3,86	8,297	0,153	2,180
16,5-17,5	9,21	0,11	1,23	4,05	0,19	6,02	5,80	0,25	4,78	6,353	0,183	4,010
17,5-18,5	9,72	0,12	1,29	5,17	0,27	6,19	6,86	0,31	4,97	7,250	0,233	4,150
18,5-19,5	10,15	0,17	2,16	6,26	0,20	3,99						
19,5-20,5	6,69	0,18	2,81									

5.5 – CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP (SP)

5.5.1 – Caracterização Geológica

A cidade de Ilha Solteira está sobre rochas do Grupo São Bento, constituídas pelos arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia e pelos derrames de rochas efusivas basálticas da Formação Serra Geral. Acima dessas formações aparecem os conglomerados e os arenitos do Grupo Bauru e, logo a seguir, os Sedimentos Cenozóicos.

5.5.2 – Caracterização Geotécnica

Os resultados dos ensaios laboratoriais foram obtidos de Menezes (1997) e Segantini (2000), os quais realizaram os ensaios em parceria com o Laboratório Central de Engenharia Civil da *CESP, LCECC*.

O Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS, é composto de uma primeira camada de solo arenoso coluvionar, de aproximadamente onze metros, seguido de outra camada, em torno de seis metros, de solo aluvionar.

– *Ensaio de Caracterização*

Os resultados dos ensaios de caracterização: limites de consistência e granulometria, encontram-se no Quadro 48.

– *Índices Físicos*

Os índices físicos estão apresentados no Quadro 49.

– *Parâmetros de Resistência*

O Quadro 50 apresenta os resultados de compressão simples, R_c , e resultados em termos de tensão efetiva dos ensaios triaxiais drenados e cisalhamento direto.

QUADRO 48 - Resultados do ensaios de Caracterização – Unesp – Ilha Solteira

Profundidade (m)	Limites de Consistência		Granulometria			
	<i>LL</i> (%)	<i>LP</i> (%)	argila (%)	silte (%)	areia f. (%)	areia m. (%)
1	23	14	29	8	59	4
2	24	15	29	8	59	4
3	24	17	20	11	65	4
4	26	16	33	8	56	3
5	27	16	33	8	56	3
6	28	17	33	5	58	4
7	29	18	27	15	55	3
8	28	16	28	12	57	3
9	28	16	28	12	57	3
10	28	16	32	12	53	3
11	28	16	26	17	54	3
12	29	17	29	11	57	3
13	29	17	30	15	52	3
14	28	17	28	17	52	3
15	28	17	25	18	53	4

QUADRO 49 - Valores de Índices Físicos – Unesp – Ilha Solteira

Profundidade (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	<i>w</i> (%)	<i>e</i>	<i>n</i> (%)
1	16,0	26,9	14,6	9,4	0,84	46
2	14,8	27,1	14,0	5,6	0,94	48
3	14,9	27,2	13,6	9,5	1,00	50
5	14,8	27,2	14,3	3,4	0,90	47
7	15,9	27,1	15,1	5,4	0,79	44
9	18,4	27,1	15,7	17,0	0,73	42
11	17,7	27,2	16,1	9,8	0,69	41
13	18,8	27,1	16,1	17,0	0,68	40
15	17,0	27,2	15,5	10,0	0,77	44

QUADRO 50 - Parâmetros de resistência para a Unesp – Ilha Solteira

Prof. (m)	Compressão Simples (m)	Triaxial drenado		Cisalhamento Direto	
	Rc (kPa)	c (kPa)	ϕ (°)	c (kPa)	ϕ (°)
1	149,7	0	32,2	59,2	24,8
2	150,0	3	31,8	52,4	29,6
3	25,3	2	32,5	25,1	28,5
5	215,7	2	33,3	99,3	26,3
7	311,2	3	33,0	89,0	32,8
9	102,7	16	30,3		
11	177,1	20	28,8		
13	84,1	20	28,8		
15	121,4	17	30,1		

– Parâmetros de Compressibilidade

No Quadro 51 estão apresentados os resultados dos ensaios de adensamento realizados sem inundação. O valor $\sigma'_{vmédio}$ foi calculado em função do peso específico natural apresentado no Quadro 49.

QUADRO 51 - Parâmetros de compressibilidade para a Unesp – Ilha Solteira

Profundidade (m)	$\sigma'_{vmédio}$ (kPa)	e_0	Cc	σ'_{ad} (kPa)	OCR
1	16,0	0,81	0,34	205,0	12,81
2	30,8	0,89	0,39	77,0	2,50
3	45,7	0,88	0,39	70,0	1,53
5	75,3	0,75	0,35	165,0	2,19
7	107,1	0,76	0,36	195,0	1,82
9	143,9	0,72	0,33	370,0	2,57
11	179,3	0,64	0,32	570,0	3,18

– *Colapsibilidade*

Ao ensaios para caracterização da colapsibilidade foram executados por Menezes (1997) e estão apresentados no Quadro 52.

QUADRO 52 - Parâmetros de colapsibilidade para a Unesp – Ilha Solteira

Prof. (m)	Tensão de Inundação (kPa)							
	0	20	80	160	320	640	800	960
	Colapso (%)							
1	-0,018	0,979	5,137	6,985	8,519	6,589	6,416	2,028
2	-0,018	0,713	2,262	3,157	2,235	0,092		
3	-0,014	0,216	2,374	1,830	1,176	0,026		
5	-0,039	0,235	0,65	1,744	2,038	1,176		
7	-0,043	0,223	1,101	2,268	2,057	0,847		
9	0,021	0,043	0,044	0,399	0,033	0,490		
11	-0,039	0,108	0,080	0,062	0,066			

5.5.3 – Resultados dos Ensaios *SPT-T*

Foram executadas quatro sondagens *SPT-T*, SP01, SP02, SP03 e SP04 com comprimentos de 15,45m, 16,45m, 16,45m e 12,45m respectivamente, totalizando 60,80 metros, locadas em conformidade com a Figura 60. As temperaturas variaram entre 20°C e 40°C.

Os furos SP01 e SP02 compreendem as áreas das estacas Pré-Moldadas com 12 metros de comprimento, e os furos SP03 e SP04 as estacas escavadas de concreto e solo-cimento com a ponta a 10 metros de profundidade. Os perfis estão apresentados na Figura 61.

O resultados estão nos Quadros de 53 a 56 e Figuras de 62 a 65.

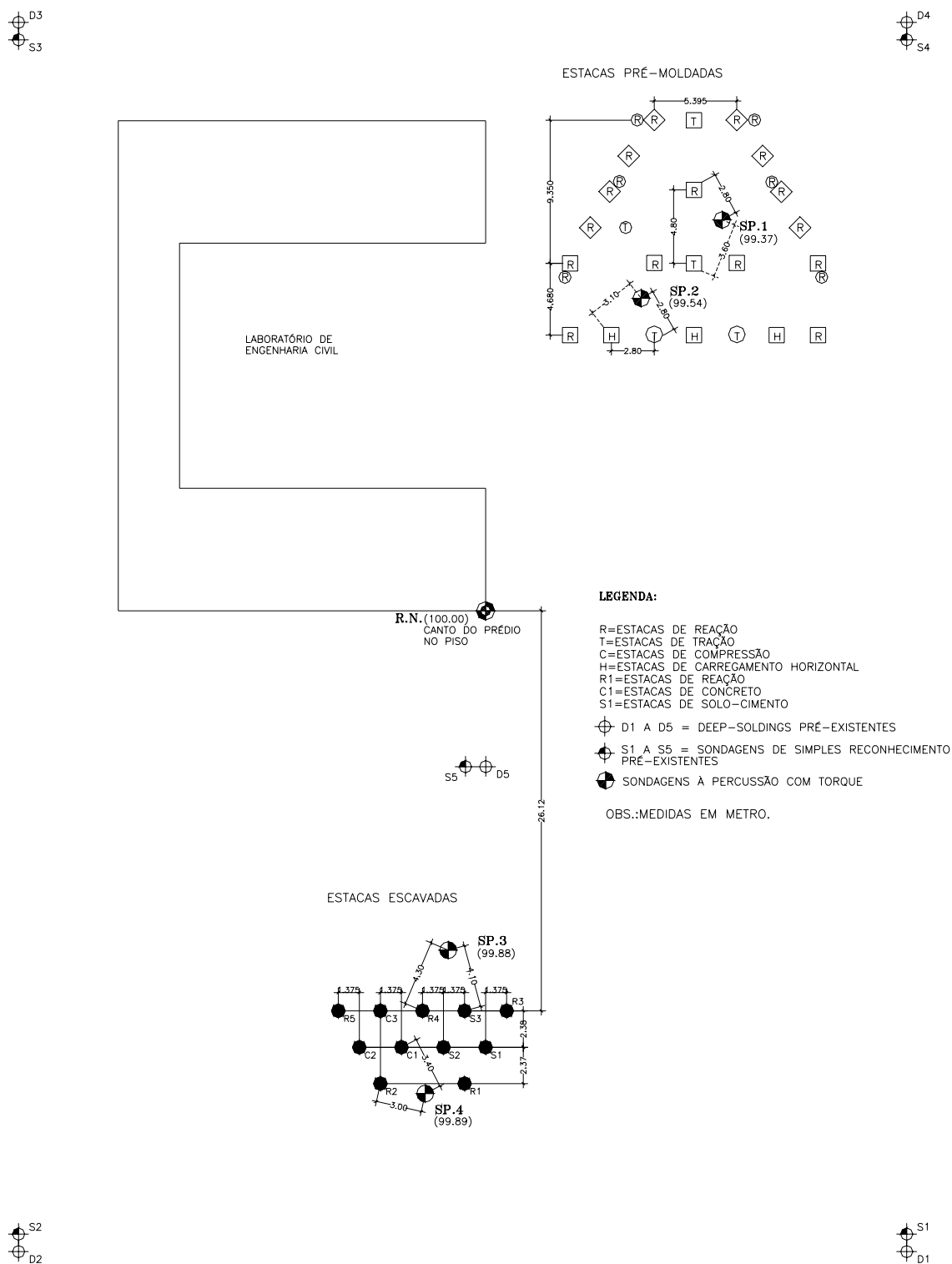


FIGURA 60 - Locação dos furos de sondagem – Unesp – Ilha Solteira

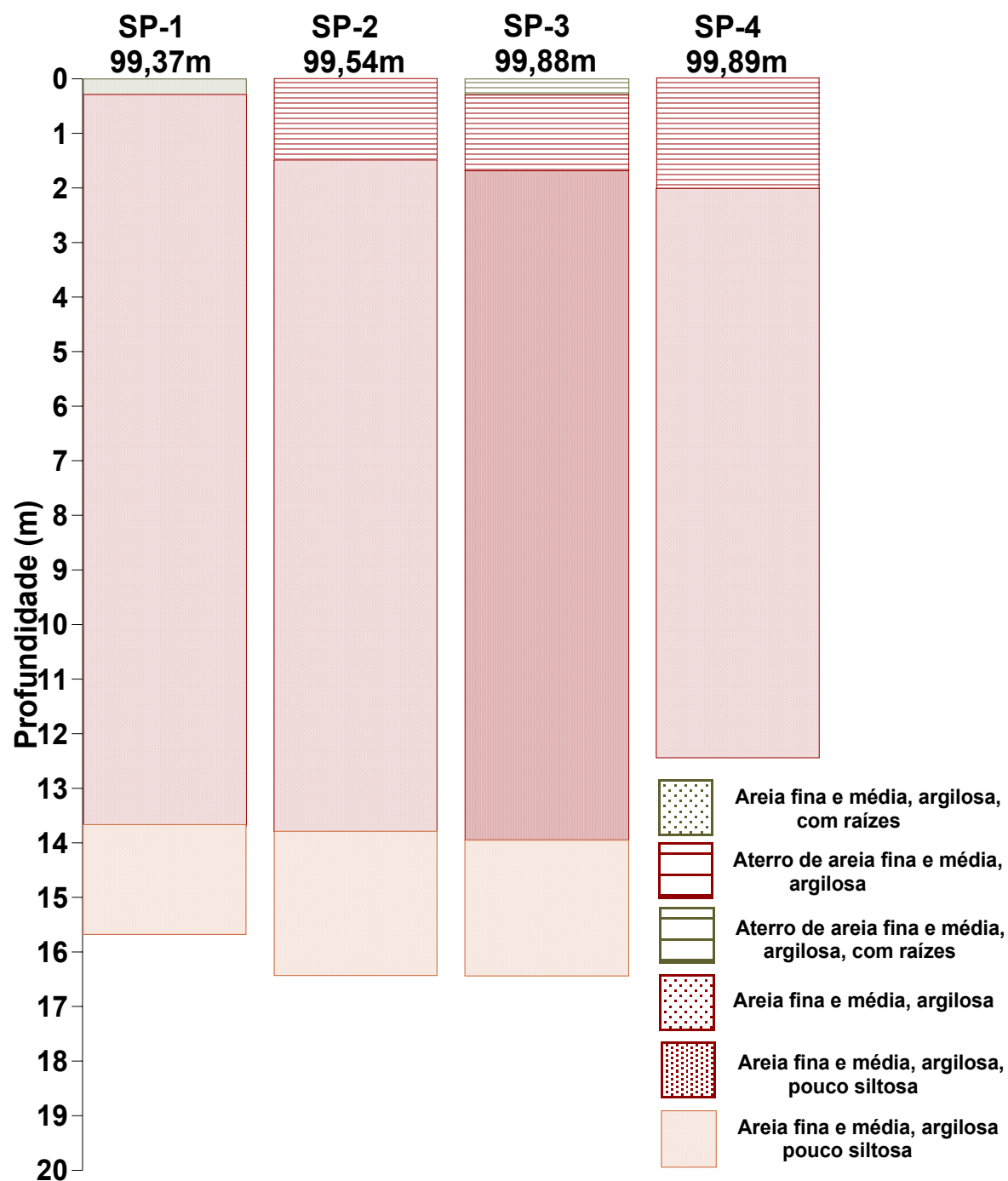


FIGURA 61 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental da Unesp – Ilha Solteira

QUADRO 53 - Valores N – Unesp – Ilha Solteira

Profundidade (m)	$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$\bar{N}$	sd	cv (%)
1	1,9	1,9	5,8	10,0	4,92	3,85	78,12
2	2,7	2,1	2,9	2,6	2,55	0,35	13,66
3	2,1	2,4	3,2	3,1	2,70	0,56	20,70
4	3,4	3,0	4,0	2,9	3,33	0,50	15,03
5	3,6	4,4	4,0	3,6	3,92	0,39	9,96
6	4,1	3,9	4,8	4,3	4,29	0,41	9,54
7	2,7	5,0	5,0	5,2	4,48	1,17	26,06
8	5,0	5,8	7,2	5,2	5,81	1,02	17,54
9	6,0	7,5	7,0	7,0	6,88	0,63	9,15
10	8,0	7,5	3,8	7,7	6,75	2,00	29,60
11	9,0	9,0	7,5	8,0	8,38	0,75	8,96
12	11,0	7,0	6,2	9,0	8,30	2,15	25,87
13	8,3	9,0	8,0		8,43	0,52	6,12
14	8,0	9,0	7,0		8,00	1,00	12,50
15	9,0	13,0	9,0		10,33	2,31	22,35
16		7,2	8,0				

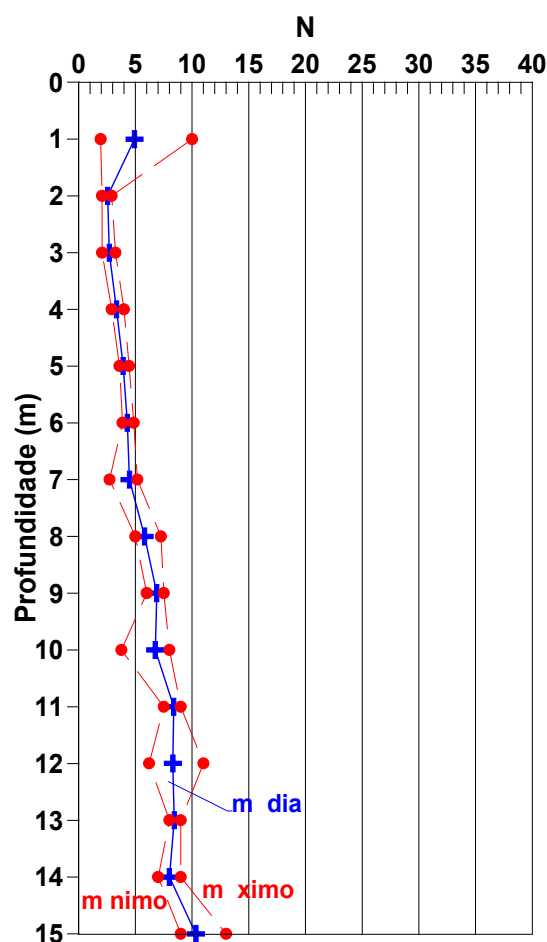


FIGURA 62 - Valores médios, máximos e mínimos de N – Unesp – Ilha Solteira

QUADRO 54 - Valores $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico
Unesp – Ilha Solteira

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	$\bar{T}$	sd	cv (%)
	$TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) TE_{res} (kgf.m)						
1	1,47 0,17	2,51 0,47	5,41 0,62	9,61 1,43	4,75 0,67	3,64 0,54	76,71 80,08
2	2,97 0,65	1,61	1,58 0,42	1,66 0,21	1,96 0,43	0,68 0,22	34,65 51,58
3	1,77	2,41	3,01 1,25	2,16 0,77	2,34 1,01	0,52 0,34	22,24 33,61
4	3,56 0,61	2,31 1,09	2,33 0,55	1,31	2,38 0,75	0,92 0,30	38,74 39,46
5	3,84 0,85	4,17 1,74	3,00 1,05	2,96 0,18	3,49 0,96	0,61 0,64	17,38 67,24
6	3,03 0,65	2,88 2,88	3,21 1,21	3,42 1,10	3,14 1,04	0,23 0,26	7,43 25,20
7	2,57 0,56	4,61 1,29	5,09 0,82	5,08 1,18	4,34 0,96	1,20 0,34	27,65 34,82
8	3,64 2,17	4,80 2,87	5,64 1,40	4,10	4,55 2,15	0,87 0,74	19,19 34,25
9	5,67 2,47	8,17 2,86	8,63 3,49	7,10 1,18	7,39 2,50	1,32 0,98	17,79 39,01
10	6,33 2,60	4,81 2,59	5,45 2,01	6,13 2,54	5,68 2,44	0,69 0,28	12,18 11,69
11	5,29 0,95	10,48 1,95	8,18 5,63	8,38 2,14	8,08 2,67	2,13 2,04	26,39 76,58
12	8,42 5,92	5,54 3,36	6,85 3,09	5,74 3,39	6,64 3,94	1,32 1,33	19,90 33,68
13	7,35 2,98	11,42 4,80	8,62 4,64		9,13 4,14	2,08 1,01	22,81 24,34
14	5,32 3,15	6,31 4,26	3,55		5,06 3,71	1,40 0,78	27,63 21,18
15	9,32 2,49	18,03 8,52	10,34 2,18		12,56 4,40	4,76 3,57	37,90 81,30
16		8,95 6,19	7,52 4,28				

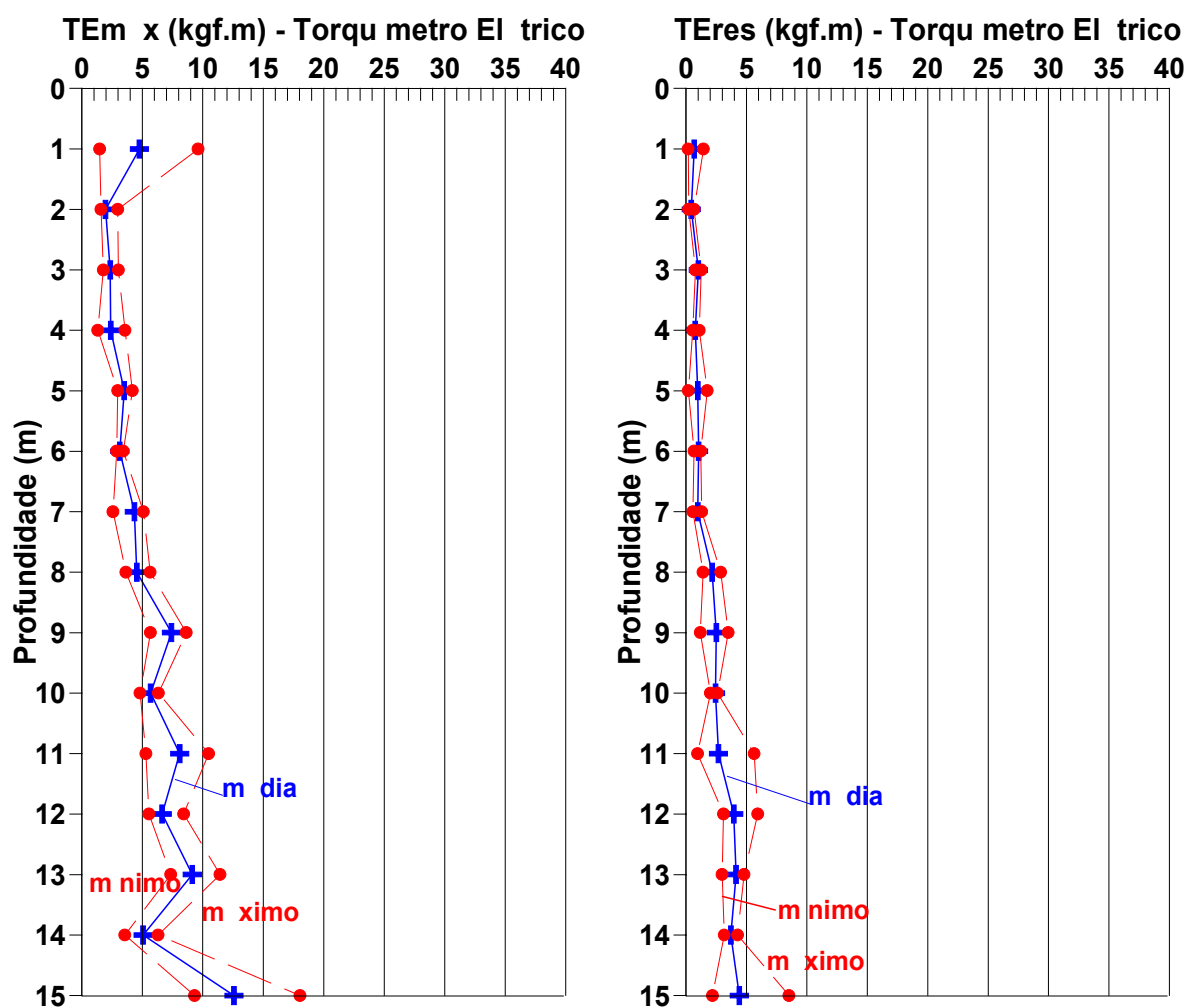


FIGURA 63 - Valores médios, máximos e mínimos de $TE_{máx}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico – Unesp – Ilha Solteira

QUADRO 55 - Valores $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico
Unesp – Ilha Solteira

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	$\bar{T}$	sd	cv (%)
	$T_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) T_{res} (kgf.m)						
1	0,9 0,5	1,9 0,9	5,6 1,4	12,0 3,0	5,11 1,46	5,02 1,10	98,17 75,54
2	1,8 0,9	1,0 1,0	1,4 0,9	1,4 0,9	1,39 0,93	0,34 0,04	24,24 4,12
3	1,0 1,0	2,0 1,0	3,5 2,2	2,5 1,0	2,24 1,29	1,02 0,58	45,75 44,96
4	3,2 0,9	2,5 1,5	2,5 1,0	0,9 0,9	2,27 1,09	0,94 0,28	41,35 25,78
5	3,3 1,9	4,3 2,9	3,0 2,0	4,0 2,0	3,65 2,19	0,61 0,46	16,73 20,96
6	2,8 0,9	3,3 1,4	1,9 3,8	3,0 1,5	2,73 1,90	0,61 1,26	22,17 66,63
7	2,1 0,9	4,9 2,0	5,2 1,9	5,0 2,0	4,29 1,67	1,45 0,55	33,84 32,92
8	3,9 2,5	4,9 2,9	6,0 3,0	4,0 2,0	4,70 2,60	0,97 0,47	20,70 17,96
9	5,0 3,0	8,6 3,9	8,5 4,0	8,0 3,0	7,53 3,48	1,71 0,56	22,68 16,02
10	6,0 3,0	5,0 2,5	5,9 2,9	6,4 2,9	5,81 2,84	0,58 0,23	9,93 8,07
11	4,0 1,5	10,0 3,5	8,5 6,0	9,0 4,5	7,88 3,88	2,66 1,89	33,75 48,71
12	8,0 6,5	5,0 3,0	6,5 4,0	6,0 4,5	6,38 4,50	1,25 1,47	19,61 32,71
13	6,5 3,5	12,0 5,5	8,3 4,9		8,94 4,63	2,80 1,03	31,34 22,14
14	5,9 2,9	6,0 6,0	4,0 2,0		5,29 3,64	1,12 2,09	21,15 57,45
15	9,0 3,0	18,0 9,0	11,0 4,0		12,67 5,33	4,73 3,21	37,31 60,27
16		5,7 4,5	7,5 5,0				

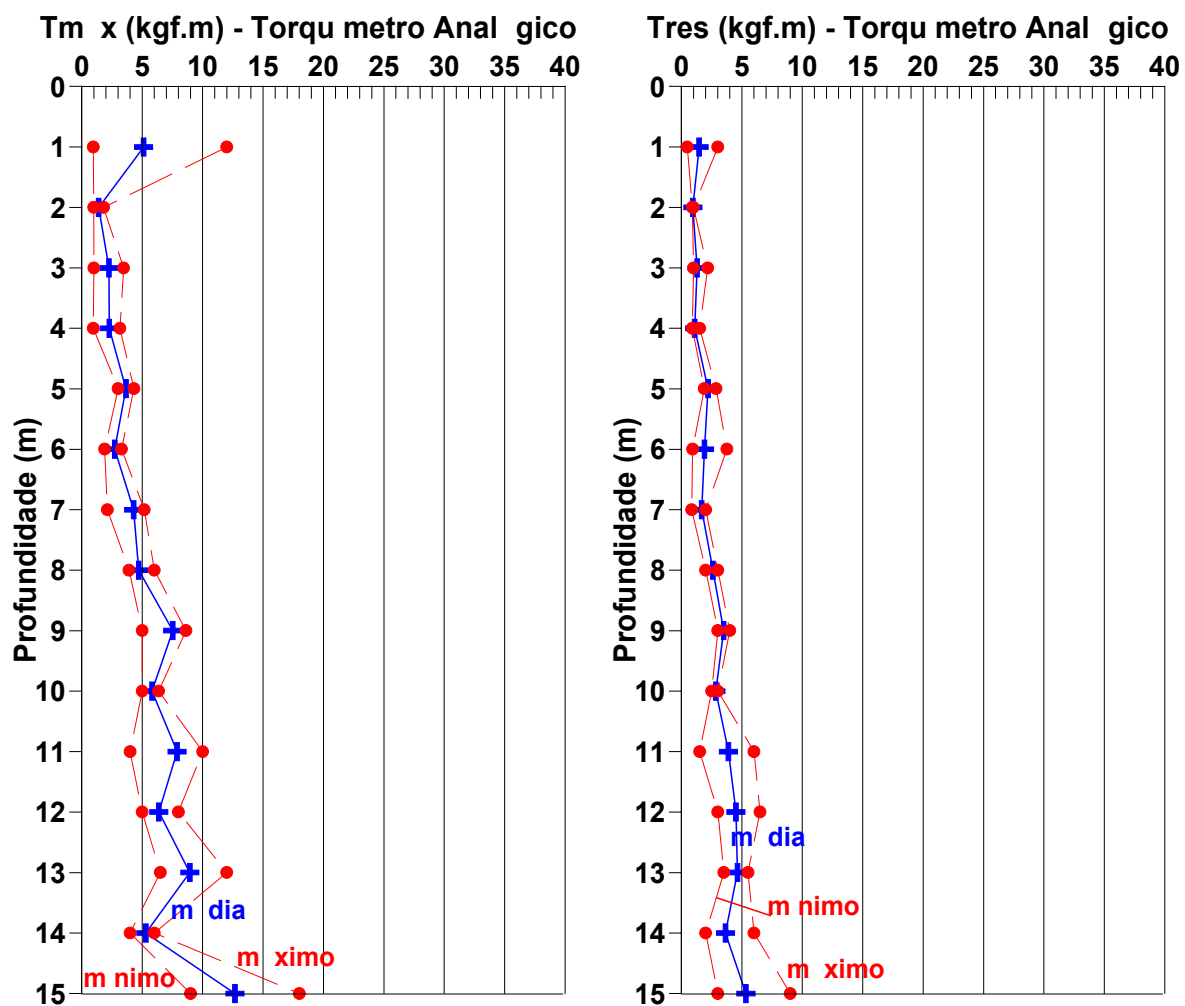


FIGURA 64 - Valores médios, máximos e mínimos de $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – Unesp – Ilha Solteira

QUADRO 56 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do SPT-T – Unesp – Ilha Solteira

Profundidade (m)	w1	w2	w3	w4	$\bar{w}$	sd	cv (%)
1	11,4	12,1	8,6	7,9	10,00	2,06	20,61
2	12,5	12,3	10,7	10,8	11,58	0,96	8,27
3	12,8	12,1	11,7	11,2	11,95	0,68	5,65
4	12,9	13,1	12,4	11,9	12,58	0,54	4,28
5	13,7	13,9	12,7	12,4	13,18	0,74	5,59
6	13,8	13,5	12,8	12,1	13,05	0,76	5,82
7	13,2	13,6	12,7	13,1	13,15	0,37	2,81
8	13,7	13,4	12,6	12,7	13,10	0,54	4,09
9	13,6	13,0	12,5	13,4	13,13	0,49	3,70
10	12,9	12,7	14,2	13,1	13,23	0,67	5,07
11	11,9	12,0	14,3	12,9	12,78	1,11	8,70
12	13,1	13,0	13,9	13,2	13,30	0,41	3,07
13	13,4	13,1	13,9		13,47	0,40	3,00
14	13,4	13,3	12,7		13,13	0,38	2,88
15	13,2	12,7	12,7		12,87	0,29	2,24
16		14,1	13,1				

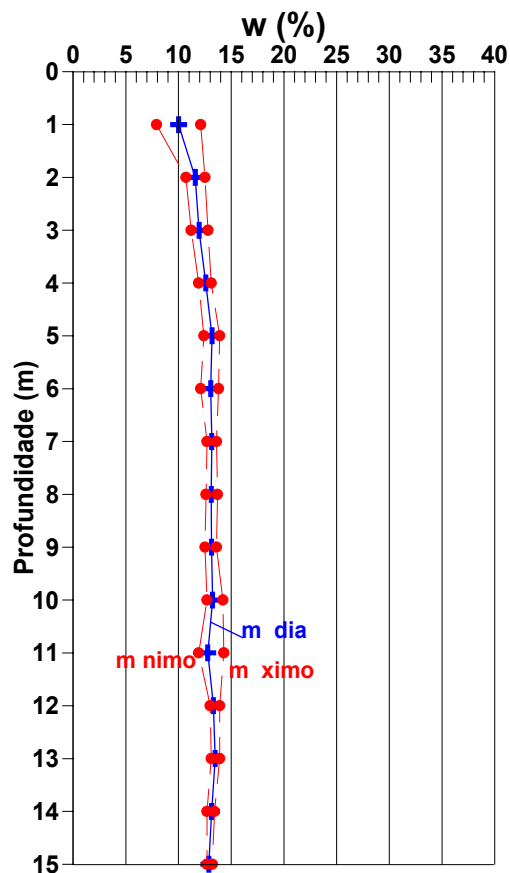


FIGURA 65 - Valores médios, máximos e mínimos dos teores-de-umidade - Unesp – Ilha Solteira

5.5.4 – Resultados dos Ensaios *CPT*

Estão sendo apresentados os resultados de Menezes (1997), o qual realizou ensaios *CPT* mecânicos em que a medida dos esforços necessários para cravar a Luva de atrito Begemann foi executada na superfície através da transferência mecânica pelas hastes. A locação desses ensaios já foi apresentada na Figura 60 sob a sigla “D” (*deep sounding*) e aqui não está sendo considerado o D3 porque o mesmo não está próximo às estacas ensaiadas. Os resultados estão apresentados no Quadro 57 e Figura 66.

QUADRO 57 - Resultados médios dos ensaios de *CPT* – Unesp – Ilha Solteira

Prof. (m)	D1			D2			D4			D5		
	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)
1	4,70	0,04	0,75	5,80	0,11	1,93	4,20	0,06	1,48	4,20	0,04	0,95
2	1,80	0,04	2,28	1,80	0,04	2,05	1,60	0,06	3,84	1,70	0,04	2,25
3	1,90	0,04	2,14	1,70	0,02	1,44	2,20	0,06	2,80	1,90	0,05	2,66
4	2,10	0,03	1,48	1,70	0,03	1,76	2,00	0,06	3,05	1,90	0,05	2,53
5	2,90	0,03	0,99	1,80	0,02	1,33	2,20	0,08	3,49	2,10	0,08	3,62
6	2,70	0,03	1,19	2,30	0,03	1,20	2,60	0,14	5,53	1,90	0,09	4,83
7	4,50	0,04	0,85	2,50	0,03	1,17	2,60	0,12	4,49	2,50	0,13	5,28
8	3,50	0,04	1,25	3,20	0,04	1,11	3,10	0,13	4,08	3,20	0,22	6,82
9	5,00	0,07	1,50	4,30	0,07	1,53	3,20	0,14	4,36	3,80	0,19	4,92
10	7,00	0,14	1,99	6,80	0,11	1,67	3,80	0,18	4,85	5,30	0,29	5,50
11	7,70	0,14	1,83	7,90	0,19	2,39	4,10	0,26	6,26	5,70	0,47	8,30
12	8,30	0,26	3,10	7,50	0,28	3,75	4,00	0,34	8,44	5,80	0,47	8,04
13	8,00	0,40	4,95	6,90	0,18	2,61	4,10	0,40	9,77	5,70	0,48	8,41
14	7,50	0,31	4,15	7,80	0,28	3,56	3,60	0,32	8,77	6,40	0,46	7,20
15	7,80	0,23	2,92	7,80	0,25	3,21	4,50	0,28	6,24	7,10	0,46	6,48
16	8,00	0,24	3,05	6,70	0,30	4,50	5,30	0,20	3,80	7,50	0,34	4,58

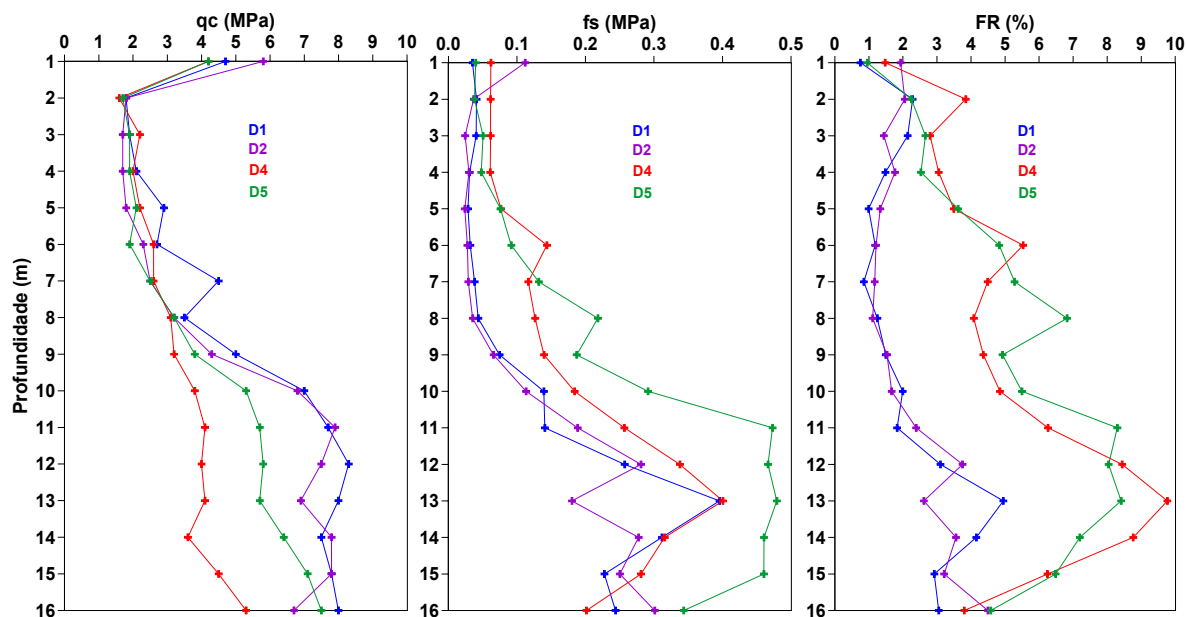


FIGURA 66 - Resultados de ensaios CPT - Unesp – Ilha Solteira

5.6 – CAMPO EXPERIMENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA – USP – SÃO PAULO (SP)

O Campo Experimental foi implantado, através de um esforço conjunto entre a Escola Politécnica da USP e a Associação Brasileira de Engenharia de Fundações e Serviços Geotécnicos, em uma área de aproximadamente 5000 m², dentro do *Campus* da Universidade de São Paulo.

5.6.1 – Caracterização Geológica

A cidade de São Paulo está situada sobre o Planalto Paulistano, em Sedimentos Terciários da Bacia de São Paulo e o Campo Experimental está situado a oeste desta bacia.

5.6.2 – Caracterização Geotécnica

O subsolo do Campo Experimental contém uma primeira camada de solo coluvionar, argilo-siltosa, porosa, marrom-amarelada, seguido de solo saprolítico, proveniente do migmatito, com veios de caolinita.

Os resultados de ensaios aqui apresentados foram obtidos da ABEF (1989).

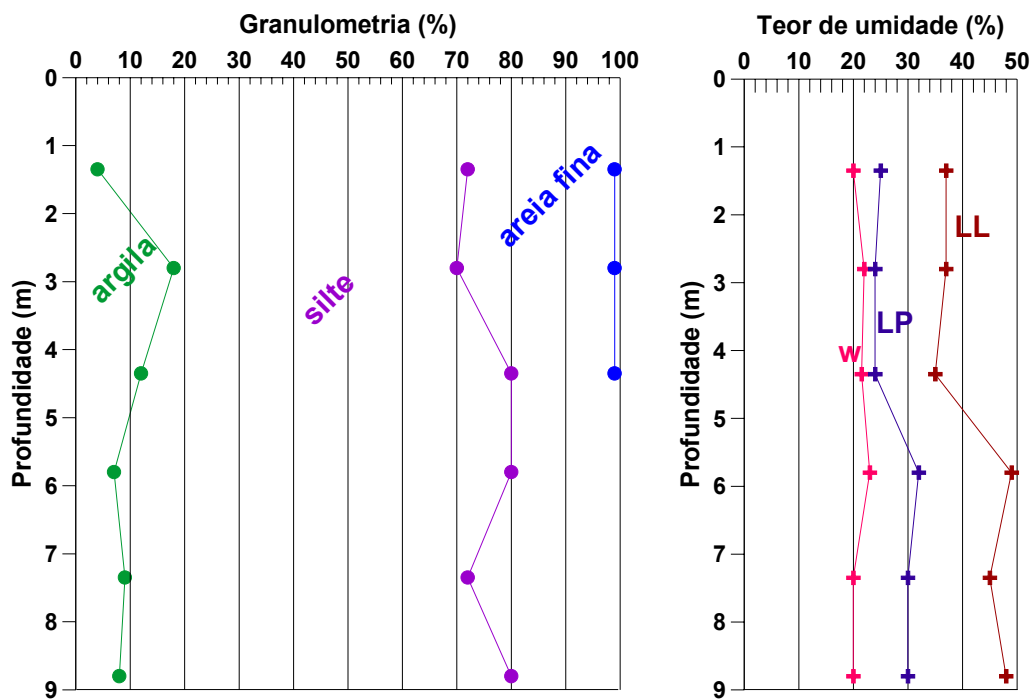
As amostras deformadas e indeformadas foram retiradas de três poços: *PIT I*, *PIT II* e *PIT III*. Nesta pesquisa estão apresentados apenas os resultados dos ensaios com amostras retiradas dos *PIT I* e *PIT III* por serem aqueles que estão próximos das sondagem realizadas. A locação dos poços está apresentada no item 5.6.3, Figura 74.

– *Ensaio de Caracterização*

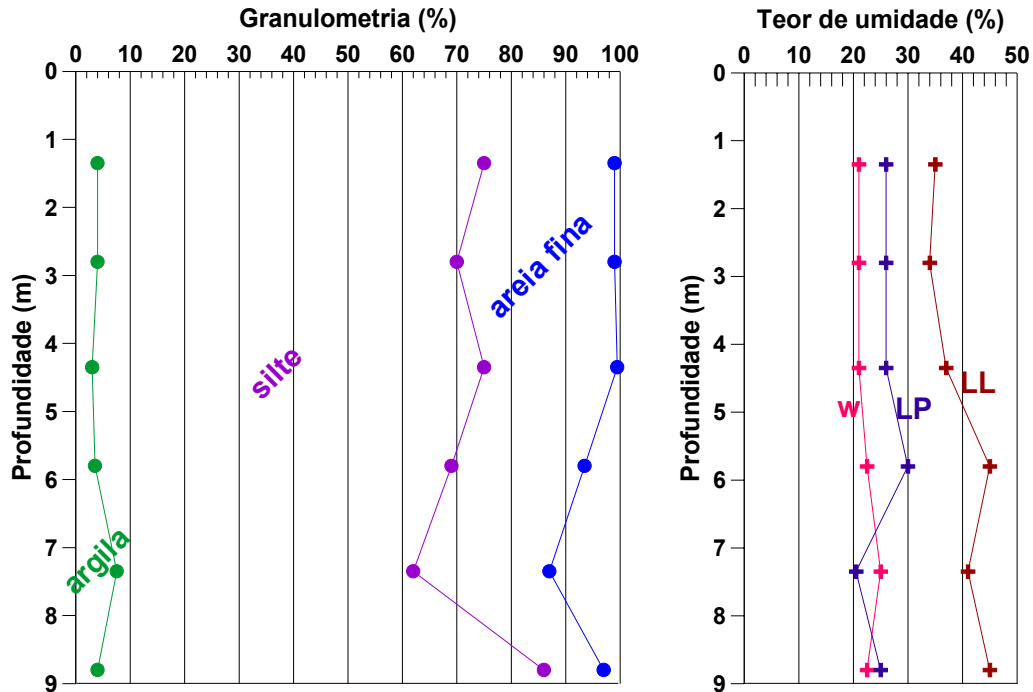
Os resultados dos ensaios de caracterização, limites de consistência e granulometria, encontram-se nas Figuras 67e 68, conforme ABEF (1989).

– *Índices Físicos*

Os índices físicos que estão apresentados nos Quadros 58 e 59 foram obtidos dos ensaios de adensamento. O peso específico dos sólidos, γ_s , o peso específico seco, γ_d e a porosidade, n , foram calculados através das relações entre os índices físicos.



**FIGURA 67 - Resultados do ensaios de Caracterização para o PIT I –
Politécnica – USP**



**FIGURA 68 - Resultados do ensaios de Caracterização para o PIT III –
Politécnica - USP**

QUADRO 58 - Índices Físicos para o PIT I – Politécnica - USP

Profundidade (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e	n (%)	Sr (%)
1,35	19,2	26,6	15,8	21,2	0,68	40,5	83
2,80	18,2	26,4	14,7	23,6	0,80	44,4	78
4,35	18,2	26,4	14,9	22,2	0,77	43,5	76
5,80	18,0	26,4	14,3	26,1	0,85	45,9	81
7,35	19,6	27,1	16,6	17,9	0,63	38,7	77
8,80	19,6	27,3	16,6	18,1	0,65	39,4	76

QUADRO 59 - Índices Físicos para o PIT III – Politécnica - USP

Profundidade (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	e	n (%)	Sr (%)
1,35	14,6	40,9	11,9	22,4	1,43	58,8	64
2,80	17,4	37,6	14,0	24,6	1,05	51,2	88
4,35	17,8	26,5	14,7	21,4	0,81	44,8	70
5,80	18,8	31,1	15,2	23,6	0,80	44,4	92
7,35	19,1	27,6	15,3	24,6	0,80	44,4	85
8,80	19,9	27,8	16,4	21,3	0,68	40,5	87

- Parâmetros de Resistência

Para a obtenção dos parâmetros de resistência, foram realizados os seguintes experimentos:

- Ensaios de Compressão Simples, nos PIT I e III, Quadro 60;
- Ensaios Triaxiais, Rápido e Lento, no PIT II, Figuras 69 e 70;
- Ensaios: Rápido, Adensado Rápido e Lento, no PIT III, profundidade 8,80m, Figura 71;
- Ensaio Triaxiais Rápido e Lento, em amostras constituídas apenas de caolinita ou migmatito, Figuras 72 e 73;
- Ensaios de Cisalhamento Direto, no PIT II, Quadro 61;
- Ensaios de Cisalhamento Direto, Amostra em Anel, no PIT II, Quadro 62.

**QUADRO 60 - Resultados dos ensaios de compressão simples - *PIT I* e *III* –
Politécnica - USP**

Profundidade (m)	PIT I		PIT III	
	ε_1 (%)	Rc (kPa)	ε_1 (%)	Rc (kPa)
1,35	0,9	350	0,5	18
2,80	0,8	125	1,2	120
4,35	1,4	96	0,3	43
5,80	0,9	258	0,8	107
7,35	0,9	371	0,9	180
8,80	0,8	182	1,1	288

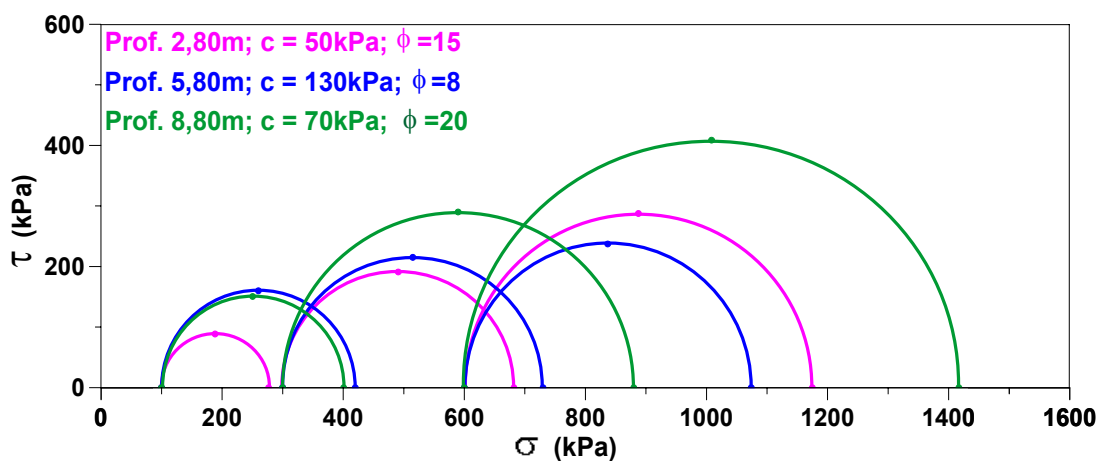


FIGURA 69 - Resultados dos ensaios triaxiais rápido - *PIT II* – Politécnica - USP

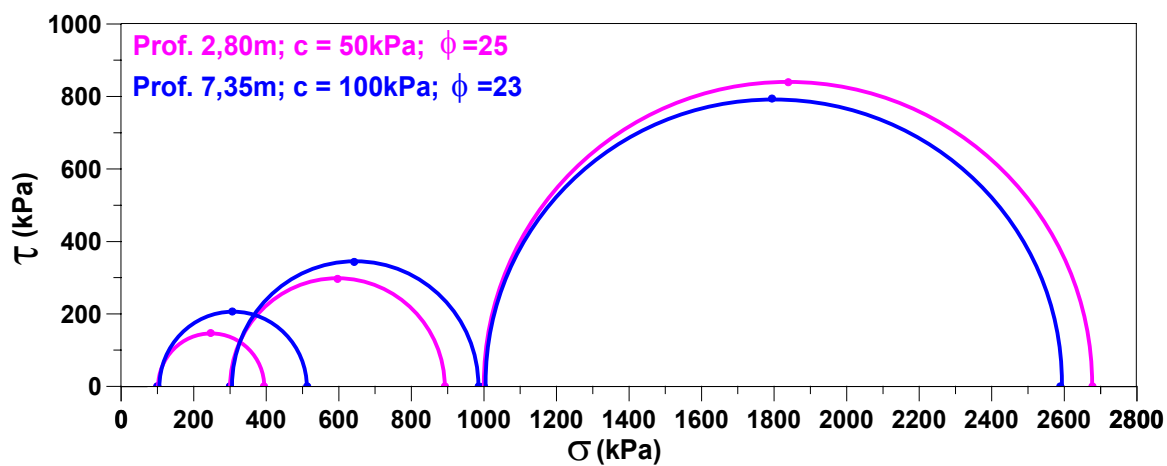


FIGURA 70 - Resultados dos ensaios triaxiais lento - *PIT II* – Politécnica - USP

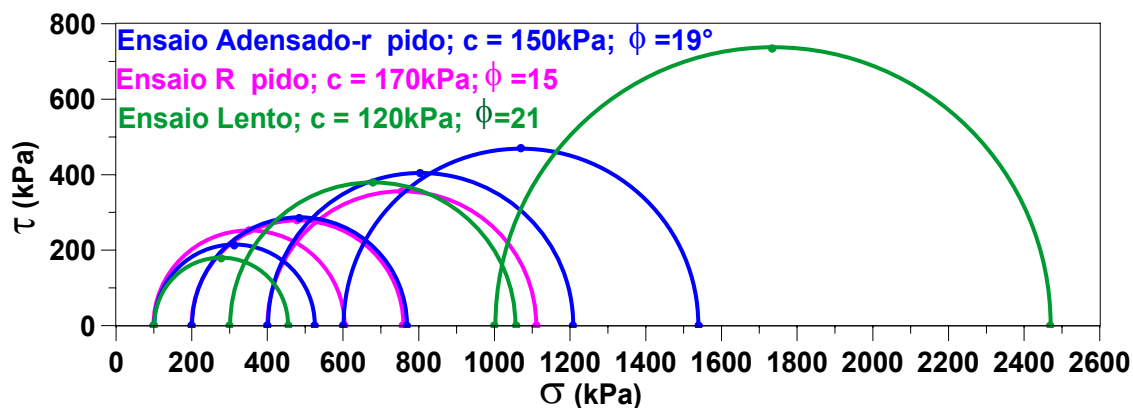


FIGURA 71 - Resultados dos ensaios triaxiais - PIT III, Prof. 8,80m –
Politécnica – USP

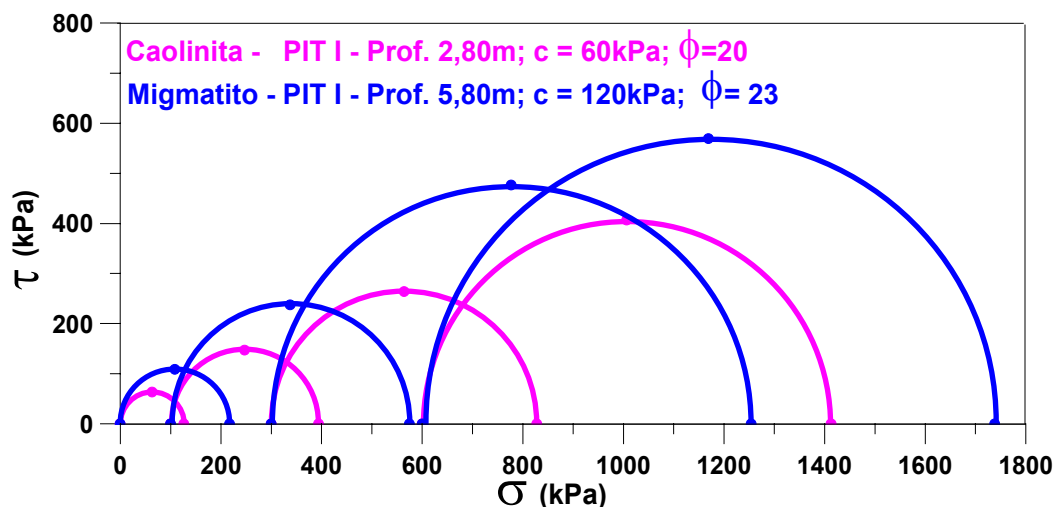


FIGURA 72 - Resultados dos ensaios triaxiais rápido - Caolinita e Migmatito
– Politécnica - USP

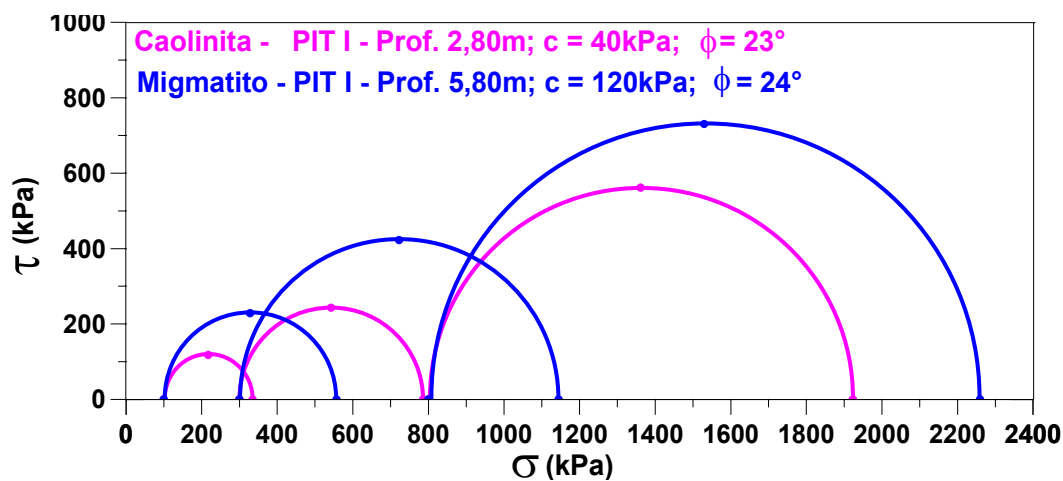


FIGURA 73 - Resultados dos ensaios triaxiais lento - caolinita e migmatito –
Politécnica – USP

**QUADRO 61 - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto - PIT II –
Politécnica - USP**

Prof. (m)	σ (kPa)	τ (kPa)	d_f (mm)	Prof. (m)	σ (kPa)	τ (kPa)	d_f (mm)
1,35	100	81	1,8	5,80	100	91	2,2
	300	188	4,8		300	188	4,5
	1000	533	4,5		1000	543	9,1
4,35	100	95	1,5	8,80	100	89	2,2
	300	254	4,9		300	238	2,1
	600	336	6,0		600	359	4,1
	1000	534	5,3		1000	587	6,3

**QUADRO 62 - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto em anel-
PIT II – Politécnica - USP**

Prof. (m)	σ (kPa)	$\tau_{\text{máx}}$ (kPa)	d_p (°)	τ_{res} (kPa)
2,80	50	63	2,1	23
	100	76	1,2	46
	300	176	3,7	96
	600	332	2,7	180
5,80	100	70	2,6	53
	300	176	4,1	115
	600	335	4,4	225
7,35	100	80	1,7	48
	300	202	2,0	127
	500	310	3,0	182

– Parâmetros de Compressibilidade

Os resultados dos ensaios de adensamento para os poços *PIT I* e *III* estão apresentados no Quadro 63. A tensão vertical média foi calculada utilizando-se os pesos específicos naturais dos Quadros 58 e 59.

QUADRO 63 - Parâmetros de compressibilidade - Politécnica - USP

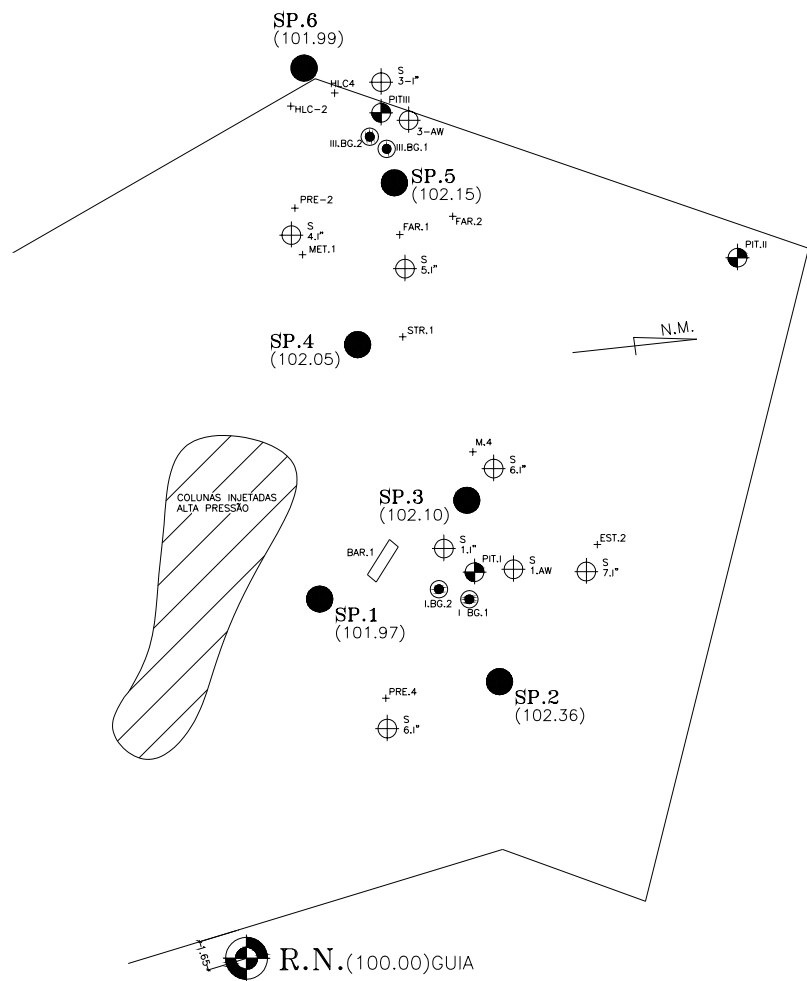
Poço	Prof. (m)	σ_v' média (kPa)	e_0	Cc	σ_{ad}' (kPa)	OCR
PIT I	1,35	25,9	0,68	0,26	770	29,73
	2,80	52,3	0,80	0,34	1090	20,84
	4,35	80,5	0,77	0,31	850	10,56
	5,80	106,6	0,85	0,38	770	7,22
	7,35	137,0	0,63	0,20	1040	7,59
	8,80	165,4	0,65	0,23	1060	6,41
PIT III	1,35	19,7	1,43	0,33	17	0,86
	2,80	44,9	1,05	0,33	280	6,24
	4,35	72,5	0,81	-	-	-
	5,80	99,8	0,80	-	-	-
	7,35	129,4	0,80	0,22	700	5,41
	8,80	158,3	0,68	0,19	700	4,42

5.6.3 – Resultados dos Ensaios *SPT-T*

Foram executados seis furos de sondagem à percussão, totalizando 63,63 metros, no período de 17 a 25 de junho e com as temperaturas variando entre 13 e 27°C. A Figura 74 mostra a localização dos furos de sondagem e as fundações mais próximas a estes, onde foram executadas provas-de-carga instrumentadas.

Todos os furos ficaram com aproximadamente 10 metros de comprimento, com exceção do SP05 que foi até 11,45m, porque a estaca Pré-Moldada PRE-2 estava com a ponta a 9,03 metros. Os perfis estão apresentados na Figura 75. As outras fundações tiveram comprimentos menores que 7,50 metros.

Nos Quadros de 64 a 67 e Figuras de 76 a 79 estão apresentados os resultados das sondagens.



- ⊕ S
 2-AW S=SPT: 2=NÚMERO DO FURO: AW=TIPO E DIÂMETRO DA HASTE
 ● BG CPT COM LUVA DE BEGEMANN
 ⊕ PIT POÇO DE EXPLORAÇÃO
 HLC ESTACA HÉLICE CONTÍNUA
 PRE ESTACA PRE-MOLDADA
 MET ESTACA METÁLICA
 FRA ESTACA FRANKI
 STR ESTACA STRAUSS
 M ESTACA INJETADA DE PEQUENO DIÂMETRO
 BAR ESTACA BARRETE
 EST ESTACA ESCAVADA
 CIP-DW PAREDE DIAFRAGMA MOLDADA IN LOCO
 PRC-DW PAREDE DIAFRAGMA PRE-MOLDADA
 ● SONDAGEM A PERCUSSÃO (SP)

FIGURA 74 - Localização dos furos de sondagem – Politécnica - USP

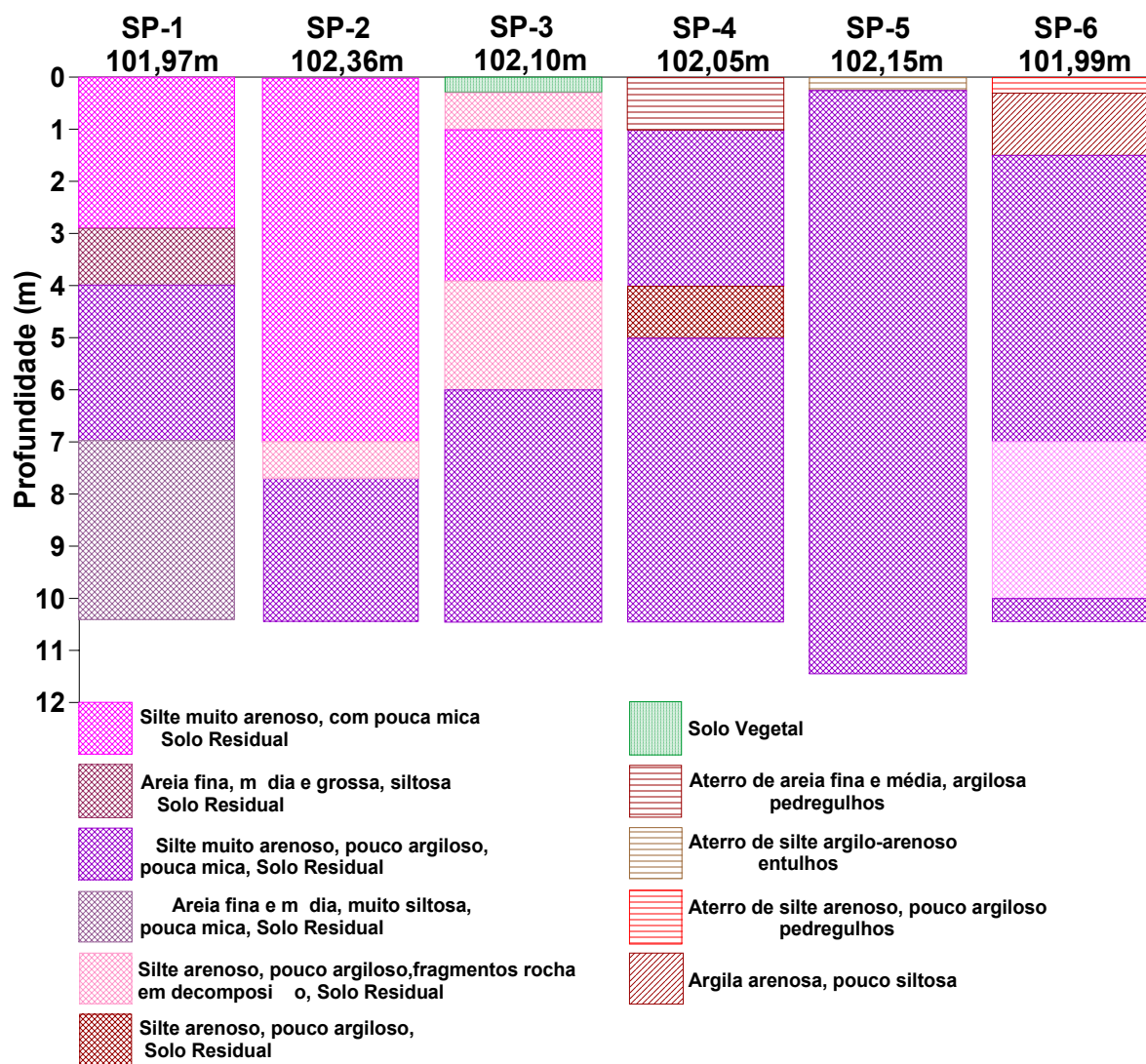


FIGURA 75 - Perfis de cada uma das sondagens executadas no Campo Experimental – Politécnica - USP

QUADRO 64 - Valores N – Politécnica - USP

Prof. (m)	$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$N5$	$N6$	$\bar{N}$	sd	cv (%)
1	5,4	18,0	16,0	7,0	5,8	3,9	9,3	6,06	64,88
2	9,0	17,0	27,0	7,0	7,0	6,7	12,3	8,21	66,86
3	28,0	18,0	37,0	23,0	11,4	12,0	21,6	9,90	45,89
4	30,0	16,0	12,0	25,0	19,0	18,0	20,0	6,48	32,40
5	45,0	14,0	19,0	21,0	18,0	21,0	23,0	11,08	48,18
6	26,0	15,0	19,0	31,0	14,0	36,0	23,5	8,96	38,13
7	25,0	15,0	20,0	31,0	37,0	20,0	24,7	8,12	32,90
8	43,0	12,0	35,0	40,0	37,0	21,0	31,3	12,14	38,76
9	41,0	7,2	52,5	32,0	34,0	19,0	31,0	16,00	51,70
10	53,5	4,3	42,0	31,0	41,0	23,0	32,5	17,27	53,20
11					43,0				

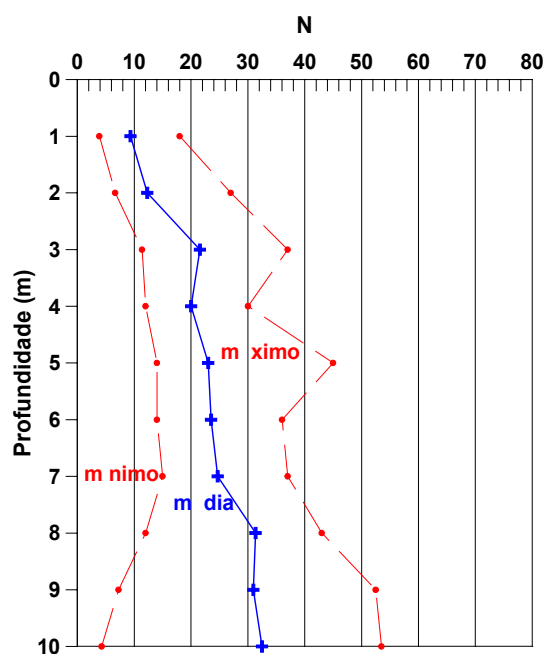


FIGURA 76 - Valores médios, máximos e mínimos de N – Politécnica – USP

QUADRO 65 - Valores $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico– Politécnica - USP

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	Furo6	$\bar{T}$	sd	cv
	$TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) TE_{res} (kgf.m)								
1	11,35 3,34	35,83 24,08	29,66 20,58	11,59 6,44	13,09 8,02	8,83 5,38	18,39 11,31	11,37 8,74	61,82 77,33
2	16,53 8,80	34,59 27,45	54,44 33,57	24,03 12,97	18,31 10,82	14,01 8,49	26,99 17,02	15,32 10,75	56,77 63,18
3		37,26 29,51	49,08 36,98	36,98 31,58	25,6 16,83	18,78 15,82	33,54 26,14	11,71 9,38	34,90 35,86
4	47,75 35,01	32,96 24,74	25,40 20,11	47,17 37,97	32,05 26,98	28,15 22,66	35,58 27,91	9,60 7,08	26,98 25,38
5		33,40 26,17	42,51 30,64	31,19 23,86	35,07 29,22	33,95 27,62	35,22 27,50	4,31 4,31	12,24 9,59
6	56,96 39,29	40,30 30,16	33,52 26,11	50,11 43,47	25,05 20,51		41,19 31,91	12,73 9,42	30,91 29,51
7	49,52 31,44	32,69	42,60 28,13	46,39 37,81	60,13 50,54	34,90 30,15	44,37 35,61	10,08 9,10	22,72 25,54
8	61,09	22,75 16,45	61,69 45,71	53,83 49,17	64,45 54,37	35,60 28,96	49,90 38,93	16,93 15,76	33,93 40,49
9		13,34 10,39	62,90 50,34	47,52 43,44	53,83 48,70	39,31 30,50	43,38 36,67	18,88 16,63	43,53 45,34
10		13,34 10,90	67,06 61,02		52,18 45,35	42,60 34,70	43,80 37,99	22,66 21,05	51,74 55,40
11					56,68 48,56				

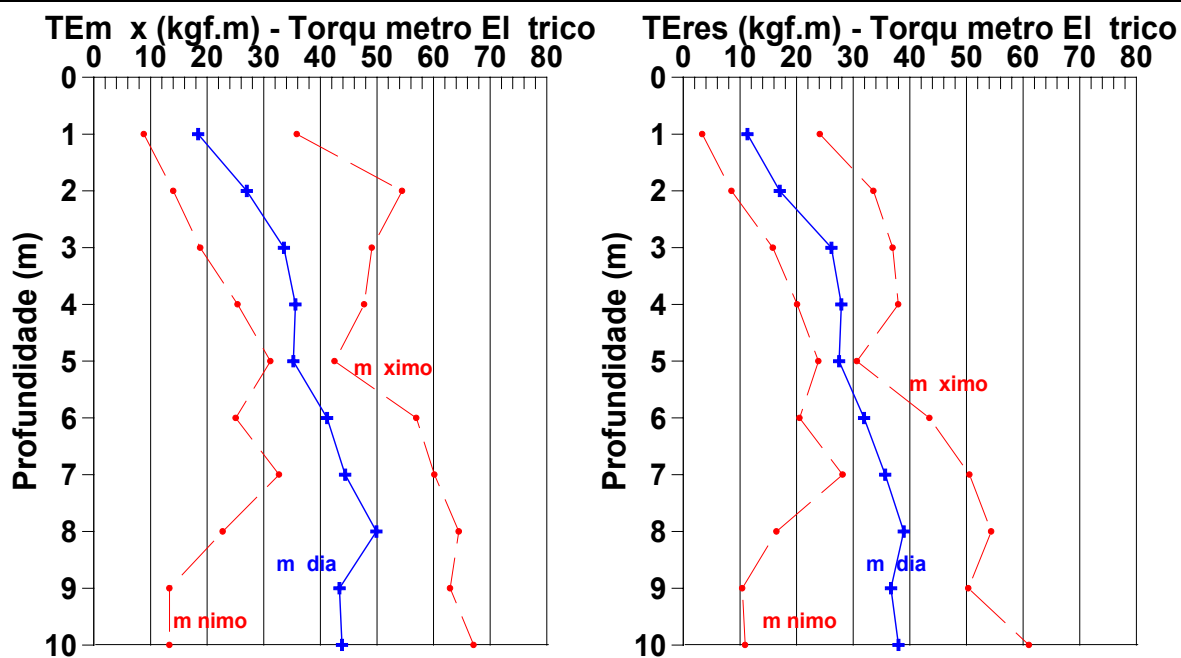
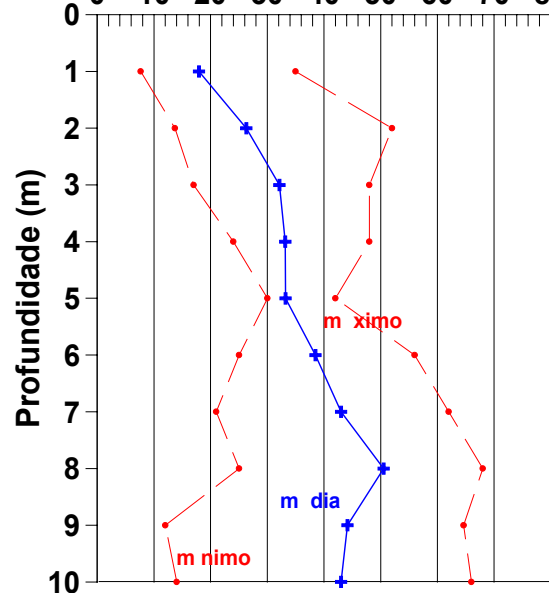


FIGURA 77 - Valores médios, máximos e mínimos de $TE_{m\acute{a}x}$ e TE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico – Politécnica – USP

**QUADRO 66 - Valores $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico
– Politécnica - USP**

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	Furo6	$\bar{T}$	sd	cv
	$T_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) T_{res} (kgf.m)								
1	12,5 4,5	35,0 22,0	30,0 21,0	11,0 7,0	11,5 6,7	7,7 3,8	17,94 10,84	11,50 8,35	64,11 77,08
2	17,0 10,0	34,0 27,0	52,0 34,0	24,0 15,0	17,0 10,0	13,7 7,8	26,28 17,31	14,54 10,72	55,31 61,94
3		38,0 31,0	48,0 38,0	38,0 32,0	19,6 16,6	17,0 15,0	32,11 26,53	13,30 10,15	41,41 38,28
4	42,0 36,0	30,0 25,0	24,0 20,0	48,0 38,0	28,0 24,0	27,0 24,0	33,17 27,83	9,56 7,33	28,82 26,34
5		30,0 26,0	42,0 32,0	30,0 24,0	32,0 29,0	32,0 28,0	33,20 27,80	5,02 3,03	15,12 10,91
6	56,0 38,0	38,0 30,0	30,0 24,0	52,0 46,0	25,0 20,0	30,0 19,0	38,50 29,50	12,77 10,73	33,17 36,37
7	48,0 32,0	21,0 30,0	42,0 28,0	48,0 40,0	62,0 52,0	37,0 32,0	43,00 35,67	13,65 8,98	31,75 25,18
8	60,0 42,0	25,0 16,0	62,0 48,0	56,0 52,0	68,0 56,0	32,0 30,0	50,50 40,67	17,62 15,11	34,88 37,15
9		12,0 10,0	64,6 50,8	48,0 44,0	58,0 50,0	38,0 30,0	44,12 36,95	20,60 17,22	46,68 46,59
10		14,0 11,0	66,0 66,0		48,0 46,0	44,0 34,0	43,00 39,25	21,57 23,00	50,17 58,59
11					58,0 50,0				

$T_m \times$ (kgf.m) - Torqu metro Anal gico



T_{res} (kgf.m) - Torqu metro Anal gico

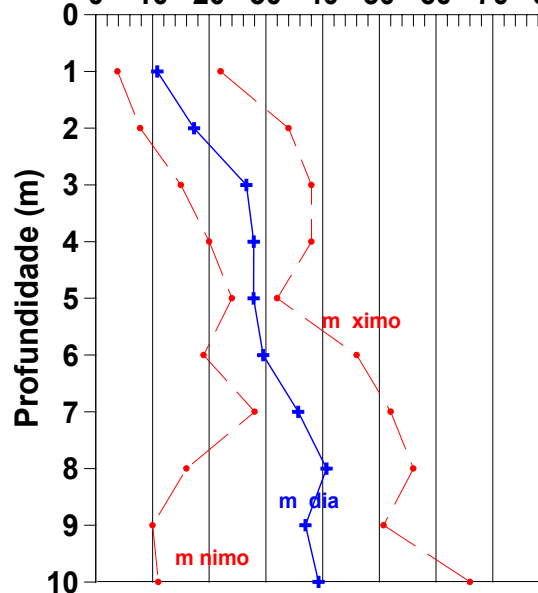


FIGURA 78 - Valores médios, máximos e mínimos de $T_{m\acute{a}x}$ e T_{res} obtidos através do torquímetro analógico – Politécnica – USP

QUADRO 67 - Valores dos teores-de-umidade obtidas das amostras contidas nos amostradores do *SPT-T* – Politécnica - USP

Profundidade (m)	w1 (%)	w2 (%)	w3 (%)	w4 (%)	w5 (%)	w6 (%)	$\bar{w}$ (%)	sd	cv (%)
1	20,1	17,1	16,7	18,4	23,7	22,2	19,70	2,82	14,33
2	18,1	22,7	17,9	14,9	21,0	16,0	18,43	2,95	16,02
3	15,8	22,3	12,0	18,1	16,7	27,8	18,78	5,54	29,49
4	21,2	18,3	20,7	23,8	17,6	20,5	20,35	2,22	10,89
5	15,9	27,5	16,7	15,2	19,2	18,7	18,87	4,51	23,89
6	16,2	18,7	17,6	20,6	31,3	26,0	21,73	5,79	26,65
7	17,4	19,6	17,4	17,1	14,4	24,2	18,35	3,31	18,03
8	15,1	39,2	17,4	16,4	14,6	21,1	20,63	9,38	45,48
9	14,3	37,5	17,2	14,9	16,9	17,4	19,70	8,81	44,74
10	15,2	47,0	18,8	16,8	17,6	22,9	23,04	12,02	52,18
11					22,5				

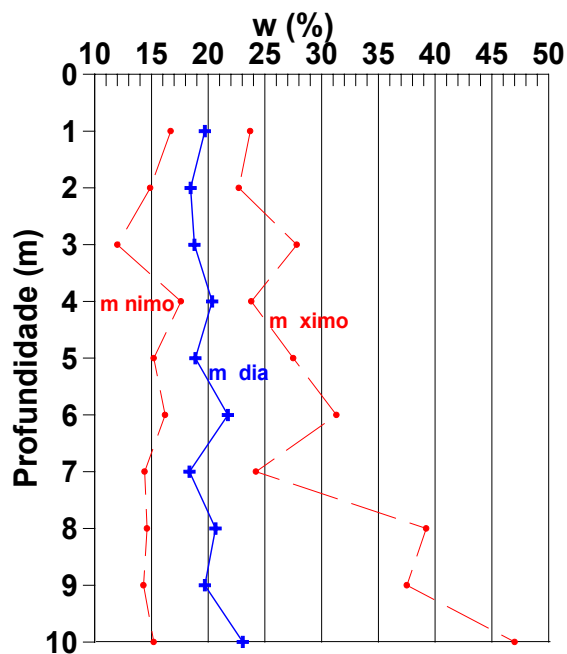


FIGURA 79 - Valores médios, máximos e mínimos dos teores-de-umidade Politécnica - USP

5.6.4 – Resultados dos Ensaios *CPT*

Estão sendo apresentados os resultados da ABEF (1979), a qual realizou ensaios *CPT* mecânicos nos quais a medida dos esforços necessários para cravar a Luva de Begemann foi executada na superfície através da transferência mecânica pelas hastes. A locação desses ensaios já foi apresentada na Figura 74 sob a sigla “BG” e não estão sendo considerados os ensaios que foram realizados próximos ao poço *PIT II*, porque não existe estaca próxima ao mesmo. Os resultados médios para os furos próximos ao *PIT I* e ao *PIT III* estão apresentados no Quadro 68. Na Figura 80, estão representados os resultados de cada um dos ensaios realizados, sendo dois próximos ao *PIT I* e dois próximos ao *PIT III*.

QUADRO 68 - Resultados médios dos Ensaios de *CPT* – Politécnica - USP

Prof. (m)	PIT I			PIT III		
	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)	$\bar{q}_c$ (MPa)	$\bar{f}_s$ (MPa)	$\bar{F}_R$ (%)
1,00-1,45	-	0,00	-	-	0,14	-
2,00-2,45	10,00	0,24	2,40	2,50	0,19	7,60
3,00-3,45	7,05	0,29	4,11	3,10	0,21	6,77
4,00-4,45	5,20	0,36	6,92	4,45	0,30	6,74
5,00-5,45	12,00	0,53	4,42	5,65	0,35	6,19
6,00-6,45	13,00	0,71	5,46	5,90	0,36	6,10
7,00-7,45	12,70	0,77	6,06	8,40	0,66	7,86
8,00-8,45	10,55	0,56	5,31	13,40	0,81	6,04
9,00-9,45	13,50	0,59	4,37	9,70	0,74	7,63
10,00-10,45	13,20	0,73	5,53	16,70	0,69	4,13
11,00-11,45	12,70	0,69	5,43	12,50	0,93	7,44

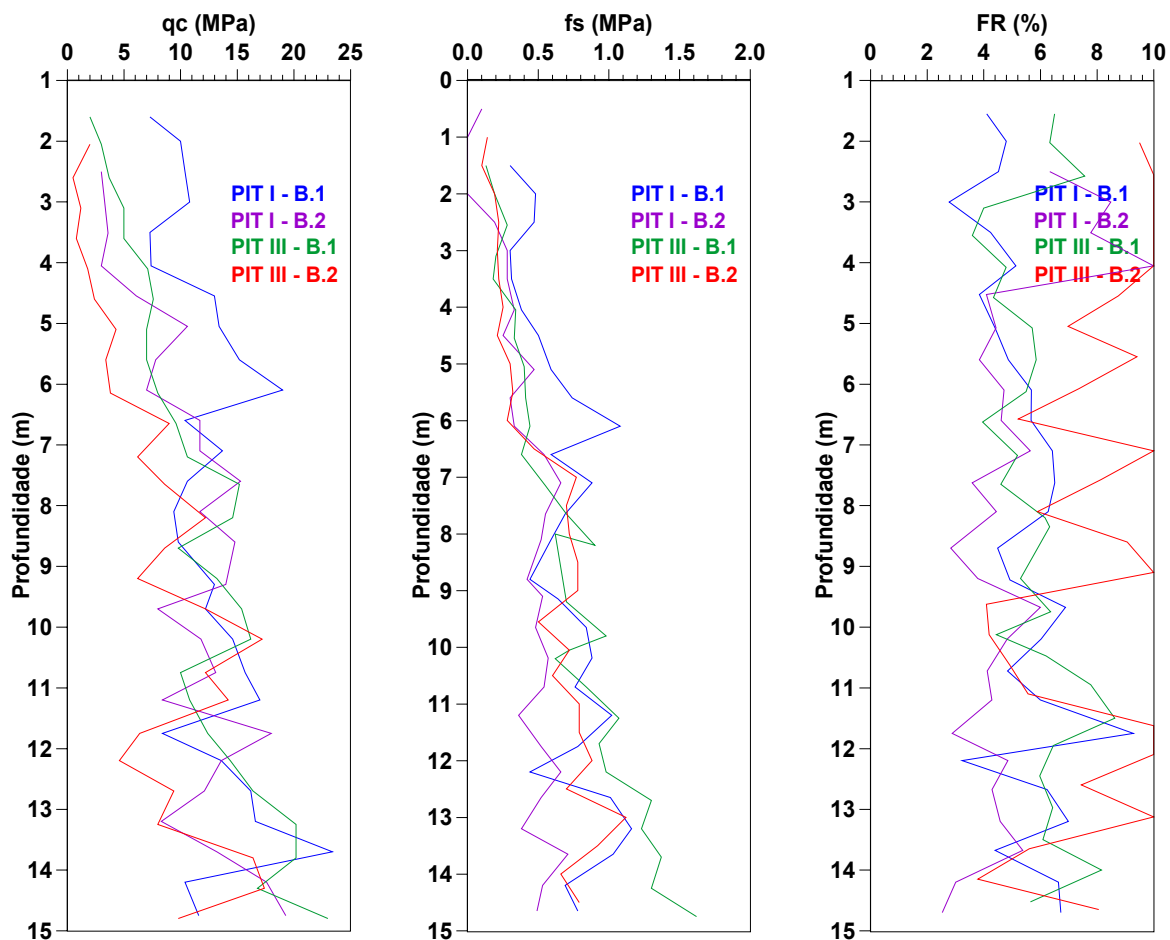


FIGURA 80 - Resultados de Ensaios CPT - Escola Politécnica

5.7 – BAIXADA SANTISTA – VICENTE DE CARVALHO GUARUJÁ (SP)

Os ensaios desta pesquisa foram realizados num sítio vizinho à sub-estação da CESP em Vicente de Carvalho, na Rodovia Piaçaguera/Guarujá, km 79,7, Guarujá (SP).

5.7.1 – Caracterização Geológica

Segundo Massad (1999), as argilas marinhas da Baixada Santista foram classificadas da seguinte maneira:

- Mangues, de deposição recente, com valor *N* nulo;
- Argilas de *SFL* (Sedimentos Flúvio-Lagunares), que se depositaram no Holoceno, a partir de 7000 anos atrás, com *SPT* entre 0 e 2 golpes. Esses sedimentos podem apresentar-se tanto homogêneos, quando depositados em ambientes de calmaria, como heterogêneos, devido à proximidade da rede fluvial ou devido ao retrabalhamento caótico dos sedimentos Pleistocênicos provocado pela Transgressão de Santos;
- *AT* (Argilas transicionais), misto de solos continentais e marinhos, depositados durante o Pleistoceno; são muito sobre-adensados, com *SPT*>5, e revelam, como marcas distintivas, a presença de folhas vegetais carbonizadas e nódulos de areias quase pura, quando argilosas, ou bolotas de argilas, quando arenosas.

Segundo essa classificação, pode-se classificar o solo da região, onde foram realizados os furos de sondagem, como mangue até aproximadamente 14 metros e, abaixo, pode ser classificada como *SFL*, por apresentar consistência mole e heterogeneidade.

5.7.2 – Caracterização Geotécnica

Os resultados apresentados neste item foram executados pelo laboratório central de Engenharia Civil da CESP. Foram retiradas amostras deformadas de dois furos de sondagem, as amostras indeformadas foram obtidas de um poço, a 3,0m de profundidade, e os corpos-de-prova foram talhados tanto na direção horizontal, como na direção vertical. Os resultados dos ensaios foram obtidos do Relatório nº 5 da CESP (1982) e de Carvalho (1982).

– Ensaios de Caracterização

Os resultados dos ensaios de caracterização estão apresentados no Quadro 69.

– Parâmetros de Resistência

Os resultados dos ensaios de Compressão Simples e Triaxiais estão apresentados no Quadro 70.

– Parâmetros de Compressibilidade

Os resultados estão apresentados no Quadro 71.

QUADRO 69 - Resultados dos ensaios de Caracterização - Baixada Santista

Furo	Prof. (m)	Limites de Consistência		Granulometria				γ_s (kN/m ³)
		LL (%)	LP (%)	argila (%)	silte (%)	areia f. (%)	areia m. (%)	
2	1,25	89	35	61	29	8	2	26,6
1	1,75	153	40	64	31	3	2	25,7
2	2,25	88	36	57	35	8	-	26,7
2	3,25	66	36	49	44	7	-	26,4
1	3,85	98	37	63	28	8	1	26,9
2	4,25	67	33	56	34	9	-	26,4
2	5,75	74	36	65	27	8	-	27,2
1	6,25	96	35	68	26	6	-	27,0
1	7,25	96	36	69	26	5	-	27,0
1	8,25	61	27	47	40	13	-	27,2
2	8,25	117	39	54	30	16	-	26,7
1	10,05	71	31	64	27	9	-	26,9
2	10,25	103	30	67	19	14	-	27,6
1	12,05	71	32	66	21	13	-	27,0
2	12,25	74	33	62	29	8	1	26,9
1	13,05	63	27	44	21	35	-	26,9
1	14,05	58	24	43	16	41	-	26,9
2	14,25	45	23	34	18	48	-	27,4
1	15,05	56	28	46	24	30	-	27,1
2	16,25	60	25	42	14	43	-	27,9
1	17,05	48	22	31	16	53	-	26,8
2	17,25	58	22	36	18	46	-	27,5
1	18,05	45	19	34	14	52	-	26,8
2	18,25	40	21	40	14	45	1	26,9
1	19,05	80	26	39	16	45	-	26,7
2	19,75	45	20	39	14	47	-	27,1

**QUADRO 70 - Resultados dos ensaios de compressão simples e triaxiais
Baixada Santista**

Compressão Simples	Horizontal		Vertical		
	ε_1 (%)	Rc (kPa)	ε_1 (%)	Rc (kPa)	
	4,0	10,2	4,3	12,7	
Triaxial não-drenado	Amostra	c (kPa)	ϕ ($^{\circ}$)	c' (kPa)	ϕ' ($^{\circ}$)
	Vertical	9	1	-	-
	Horizontal	-	20	-	-
Triaxial Adensado não-drenado	Amostra	c (kPa)	ϕ ($^{\circ}$)	c' (kPa)	ϕ' ($^{\circ}$)
	Vertical	-	16	-	23
	Horizontal	-	16	-	22
Triaxial Adensado drenado	Amostra	c (kPa)		ϕ ($^{\circ}$)	
	Vertical	-		30	

QUADRO 71 - Resultados dos ensaios de adensamento - Baixada Santista

Tipo	Cc	σ'_{ad} (kPa)
Normal	1,74	28
	1,93	21
Radial	1,75	24

5.7.3 – Resultados dos EnsaioS *SPT-T*

Foi executado um furo de sondagem na Rodovia Piaçaguera/Guarujá, Km 79,67, próximo à subestação da CESP em Vicente de Carvalho. Os ensaios foram realizados entre os dias 29 de junho e 2 de julho de 1999, a uma temperatura praticamente constante de 21°C. O perfil do subsolo está apresentado na Figura 81 e, os resultados da sondagem, no Quadro 72 e Figura 82.

QUADRO 72 - Resultados dos ensaios *SPT-T* - Baixada Santista

Prof. (m)	N	Torquímetro Elétrico		Torquímetro Analógico		w (%)
		<i>T_{máx}</i>	<i>T_{res}</i>	<i>T_{máx}</i>	<i>T_{res}</i>	
1	0			1,5	1,1	160,7
2	0	1,97	0,58	1,5	0,7	173,5
3	0	2,13	0,40	1,9	1,0	120,3
4	0	2,36	0,77	2,6	1,1	113,6
5	0	2,80	0,92	2,8	1,4	121,4
6	0	2,85	0,71	2,6	1,0	132,8
7	0	3,24	0,61	3,3	1,5	106,5
8	0	3,06	0,73	3,4	1,4	105,5
9	0	3,63	1,40	5,0	1,5	107,6
10	0,5	3,47	1,41	4,1	1,5	121,0
11	0,6	2,95	1,16	3,3	1,6	109,0
12	0	4,68	1,94	5,5	2,5	99,3
13	0,7	4,54	1,09	5,0	2,5	136,4
14	0,9	3,66	1,90	3,68	1,6	72,6
15	0	4,72	1,83	5,4	2,3	103,2
16	0	4,76	1,82	5,5	2,0	83,5
17	1,2	5,93	2,27	5,7	3,8	94,9
18	1,2	4,05	2,20	4,3	2,1	85,5
19	1,2	4,48	1,83	4,4	2,0	105,5
20	1,4	4,66	2,09	4,9	3,1	95,6

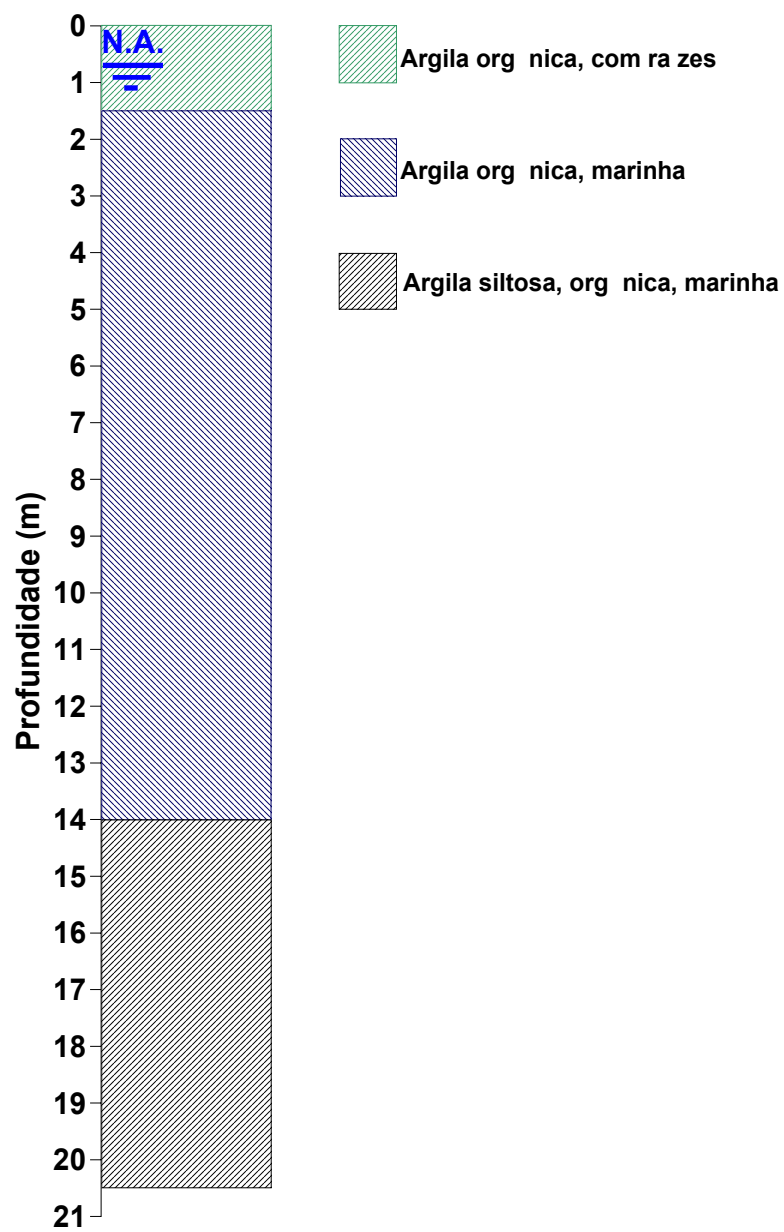


FIGURA 81 - Perfil da sondagem - Baixada Santista

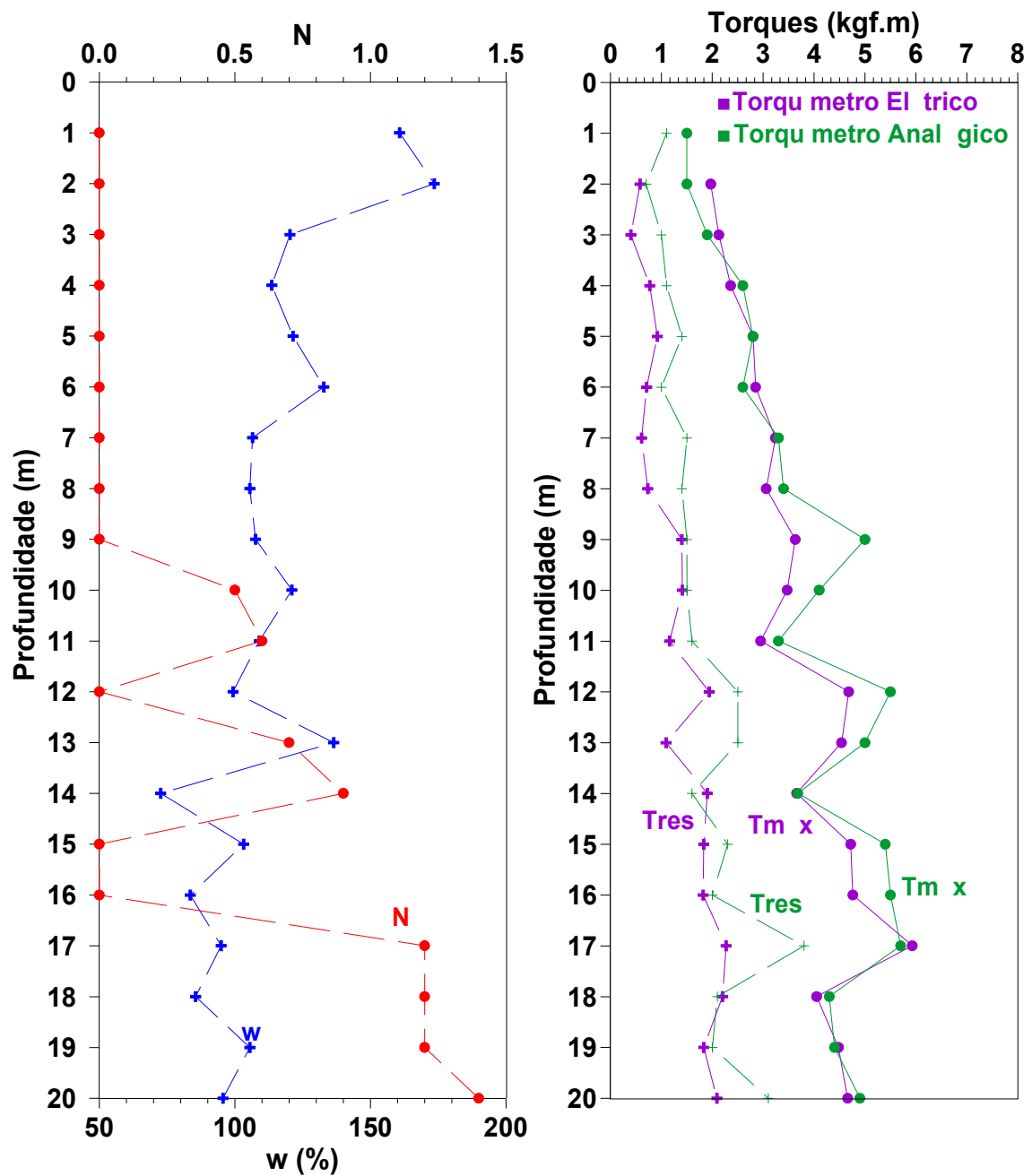


FIGURA 82 - Resultados SPT-T - Baixada Santista

5.7.4 – Resultados dos Ensaio de Palheta

Também foram realizados dez ensaios de palheta *in situ*, sendo cinco em amostra natural e cinco em amostra amolgada, Quadro 73. Esses ensaios foram realizados em um furo a três metros de distância daquele em que foi realizada a sondagem SPT-T.

Embora o valor N do *SPT* tenha permanecido praticamente constante, verificou-se um aumento do torque à medida que o furo se aprofundava, o mesmo ocorrendo com a resistência ao cisalhamento não drenado, S_u .

QUADRO 73 - Resultados dos Ensaio de Palheta em amostra natural e amolgada - Baixada Santista

Profundidade (m)	Resistência ao Cisalhamento não drenado, S_u (kPa) Amostra Natural	Resistência ao Cisalhamento não drenado, S_u (kPa) Amostra Amolgada
4,00	26	-
8,00	36	26
12,00	62	40
15,00	75	14
18,00	84	36

6. ANÁLISE DAS CURVAS TORQUE *VERSUS* ÂNGULO-DE-ROTAÇÃO

Depois de finalizados os ensaios nos sete locais, foram construídas as curvas torque *versus* ângulo-de-rotação, totalizando 469 gráficos, dos quais, são apresentados, neste capítulo, aqueles representativos das curvas típicas para cada camada do respectivo Campo Experimental.

Através destas curvas foram realizadas as seguintes análises:

- Comparação entre os dados obtidos eletronicamente e aqueles de leitura analógica;
- Comparação entre os torques máximo e residual;
- Estudo da influência do tempo de cravação do amostrador no valor do torque;
- Estudo da influência da velocidade-de-rotação no valor do torque;
- Estudo da obtenção do torque residual;
- Estudo da obtenção do torque máximo.

6.1 – CURVAS TORQUE *VERSUS* ÂNGULO-DE-ROTAÇÃO

Neste item estão apresentadas as curvas típicas para as diferentes camadas de cada Campo Experimental.

O conjunto total de curvas é apresentado no *Compact Disc* anexado à contra-capa deste volume. Cada pasta corresponde a uma Campo Experimental e dentro de cada uma existem os arquivos correspondentes aos furos de sondagem. Os arquivos estão nomeados de acordo com o Campo Experimental e o número do furo. Devem ser abertos no *Microsoft Power Point 97* ou superior.

6.1.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp – Campinas (SP)

As camadas mais representativas desse Campo são: argila arenosa, porosa; argila arenosa, pouco siltosa (solo residual); silte arenoso ou argiloso (solo residual).

– *Argila arenosa, porosa*

Camada entre zero a seis metros, com índice de resistência à penetração médio variando entre 2,4 e 5,6. Os valores de torque nessa camada são pequenos

e aquelas que ilustram melhor o comportamento geral estão apresentadas na Figura 83.

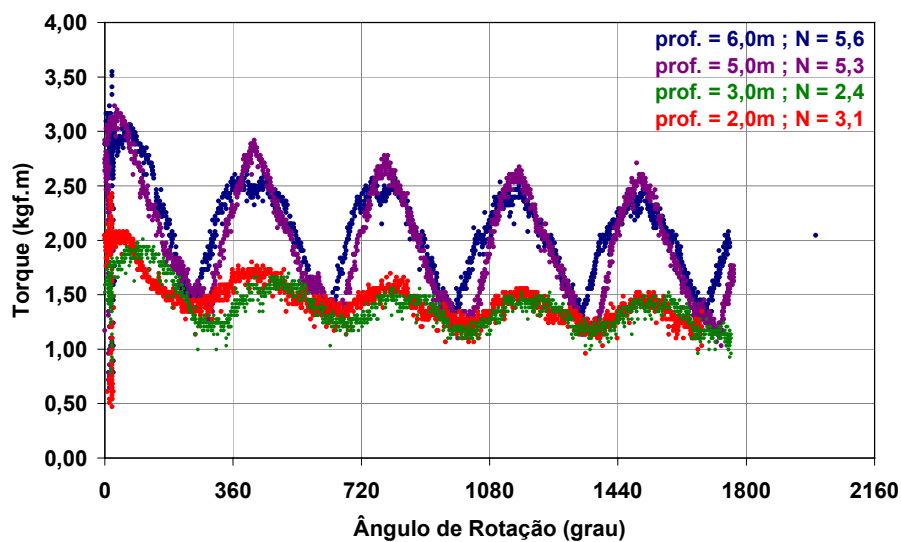


FIGURA 83 - Curvas típicas para a camada de argila arenosa, porosa Unicamp

— *Argila arenosa, pouco siltosa (solo residual)*

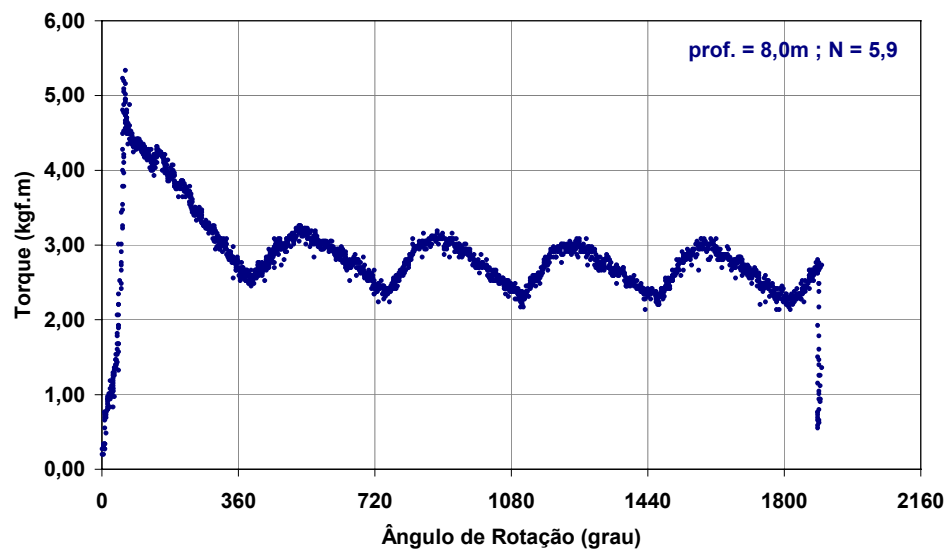


FIGURA 84 - Curva típica para a camada de argila arenosa, pouco siltosa (solo residual) – Unicamp

— *Silte arenoso ou silte arenoso argiloso (solo residual)*

A curva típica para a camada acima do nível d'água está representada na Figura 85, e, para a camada abaixo do nível d'água, na Figura 86.

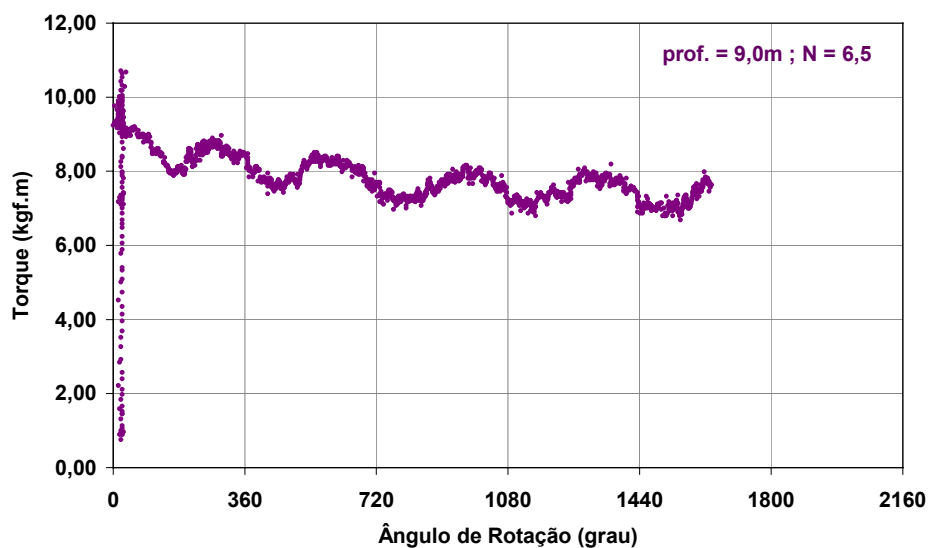


FIGURA 85 - Curva típica para a camada silte arenoso (solo residual) - acima do nível d'água - Unicamp

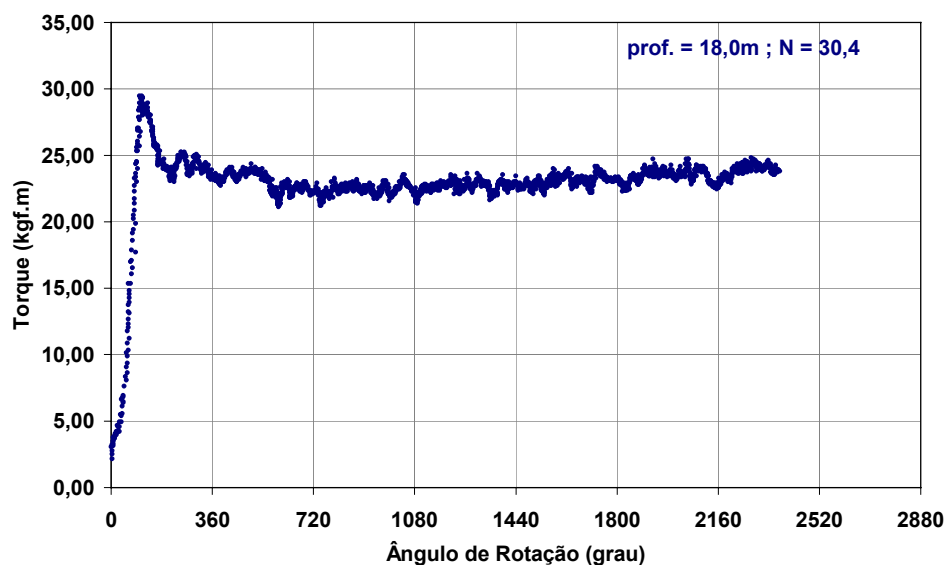


FIGURA 86 - Curva típica para a camada silte arenoso (solo residual) - abaixo do nível d'água – Unicamp

6.1.2 – Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)

A primeira camada desse Campo Experimental é de silte argiloso, a segunda camada de silte muito arenoso (solo residual) e a terceira de silte argiloso (saprolítico). Nos três casos, tanto o torque máximo como o torque residual estão bem definidos nas curvas (vide Figuras 87 a 89).

– *Silte argiloso*

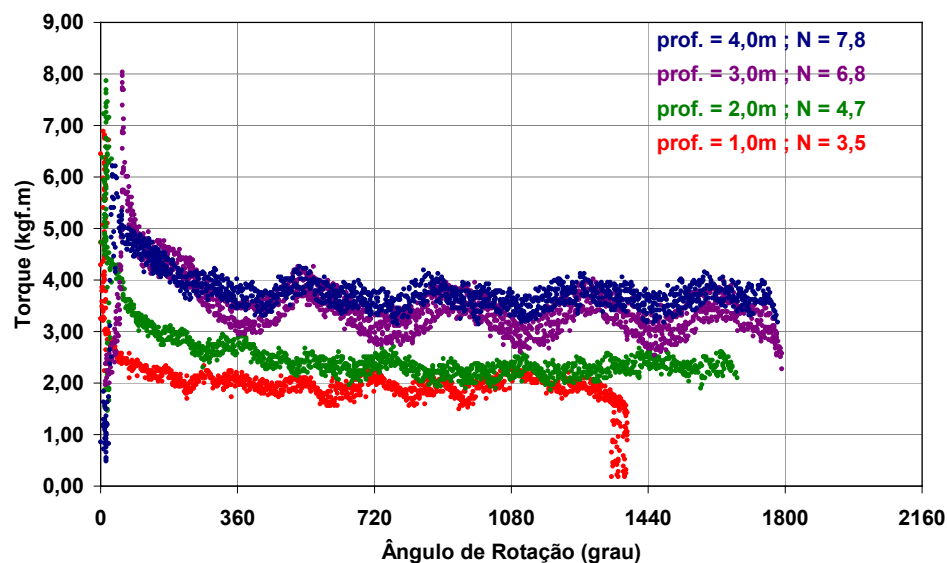


FIGURA 87 - Curva típica para a camada silte argiloso - UFLA

- *Silte muito arenoso (solo residual)*

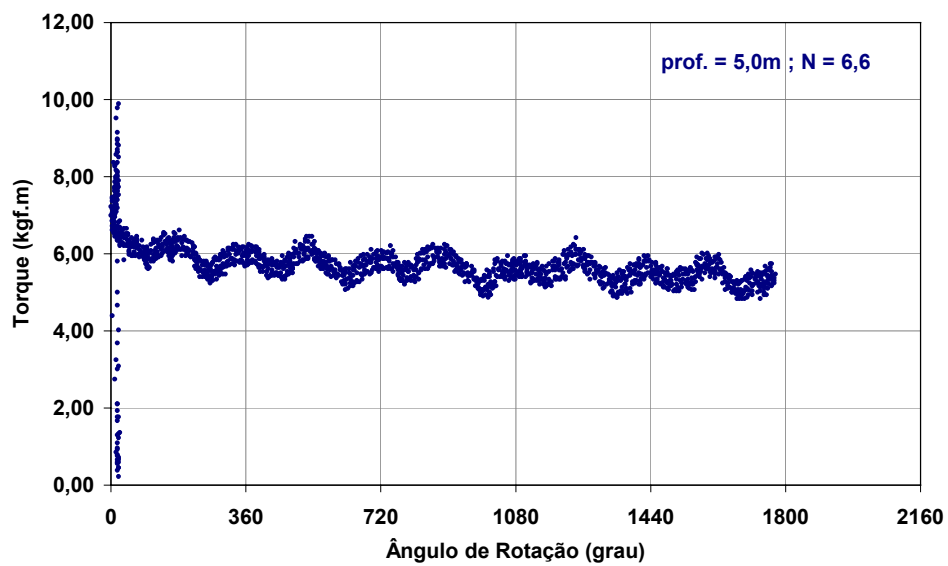


FIGURA 88 - Curva típica para a camada silte muito arenoso (solo residual)
UFLA

- *Silte argiloso (solo saprolítico)*

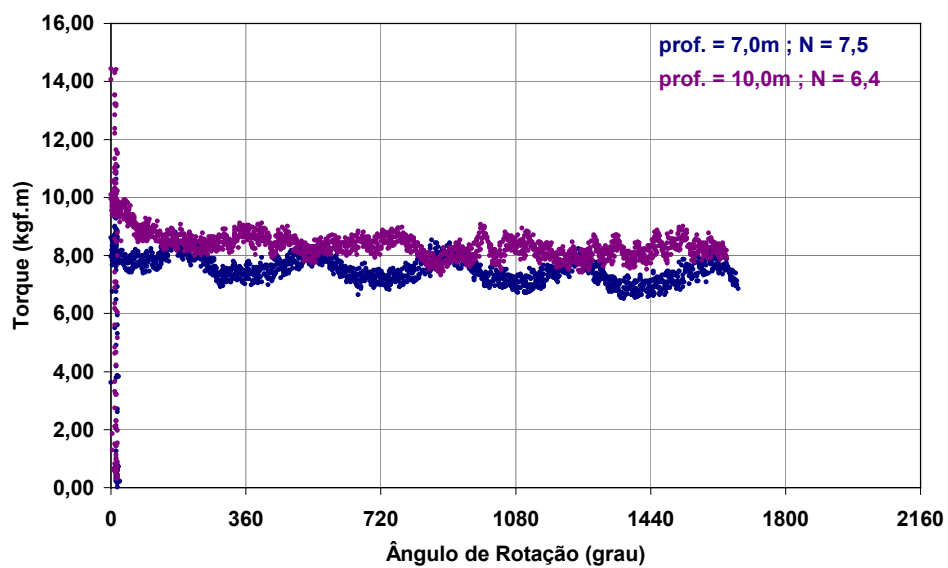


FIGURA 89 - Curva típica para a camada silte argiloso (solo saprolítico) -
UFLA

6.1.3 – Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos USP (SP)

– *Areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa*

Esta camada possui dois tipos de curva, Figuras 90 e 91. A primeira se refere à profundidade de 3,0m nos furos de SP1 a SP4, à profundidade de 5,0m nos furos de SP2 e à profundidade de 6,0m no furo SP6. O segundo tipo de curva está apresentado na Figura 91.

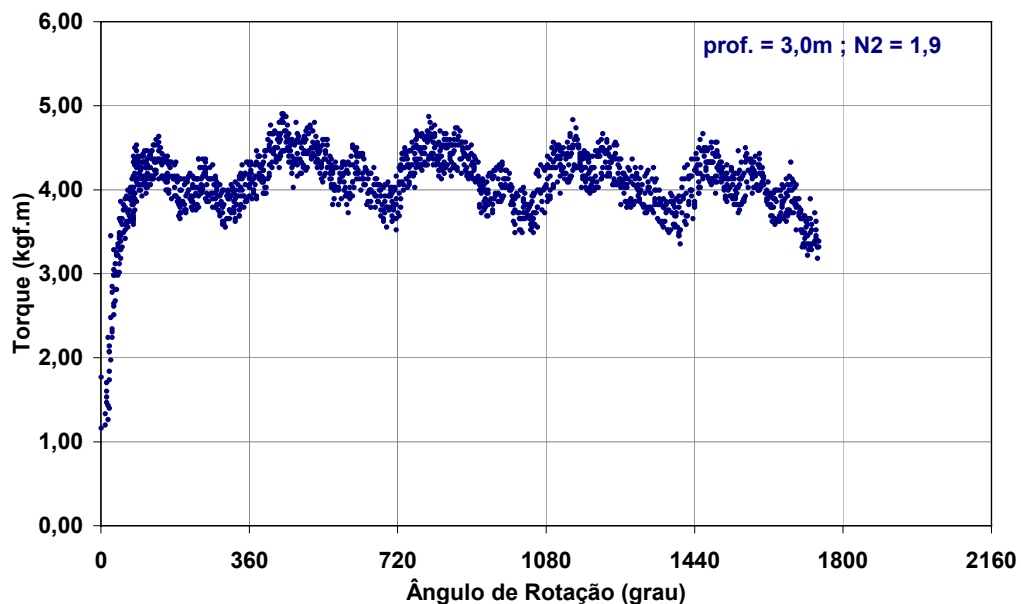


FIGURA 90 - Curva típica 1 para a camada areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa - EESC - USP

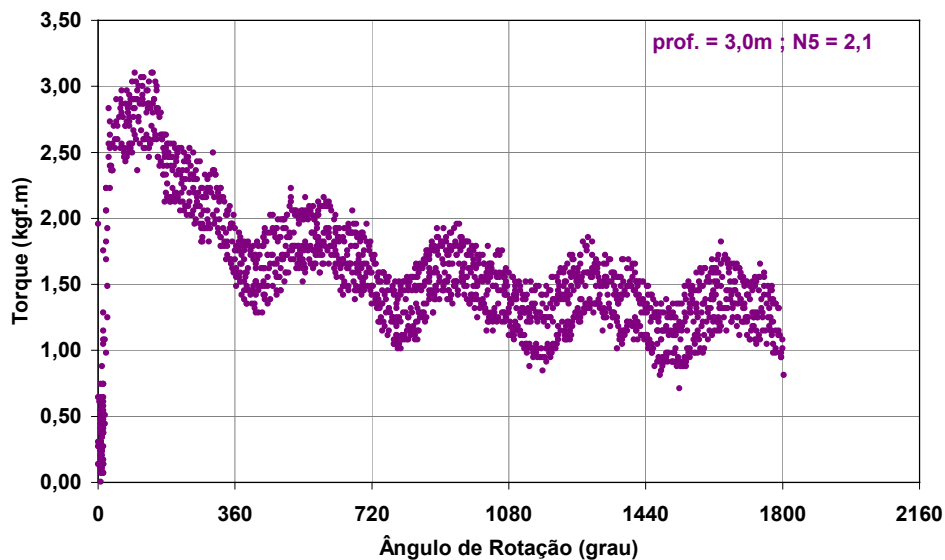


FIGURA 91 - Curva típica 2 para a camada areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa - EESC - USP

— *Areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa (linha-de-seixos)*

A curva da Figura 92 está representando a camada a sete metros, na qual está contida a linha-de-seixos. Em todos os furos de sondagem, esta curva não possui um pico representativo do torque máximo.

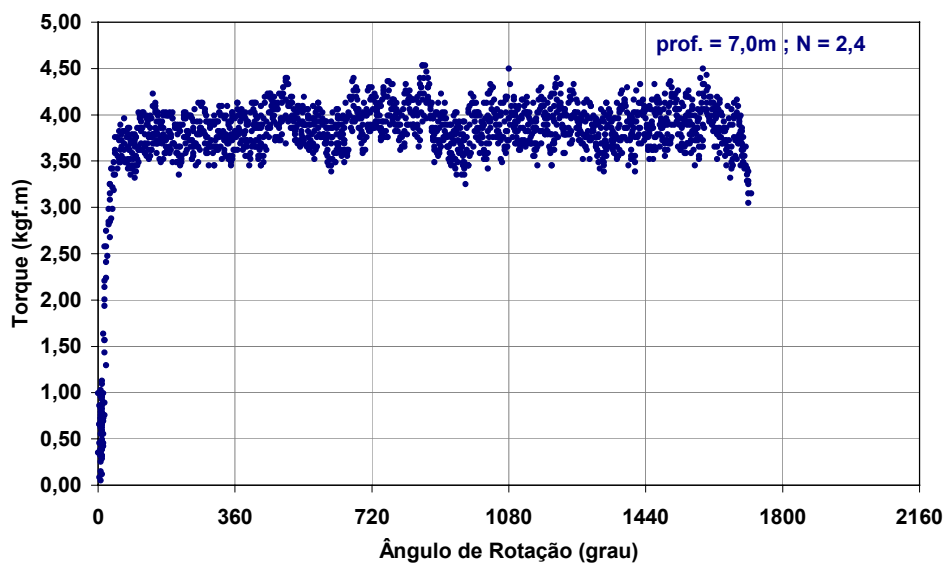


FIGURA 92 - Curva típica para a camada areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa na linha-de-seixos - EESC – USP

– *Areia fina e média, argilosa, pouco siltosa (abaixo da linha-de-seixos)*

Logo abaixo da linha-de-seixos, as curvas apresentam o comportamento indicado na Figura 93, na qual, pode-se observar que o torque não se estabiliza até a quinta volta. Depois, com o aumento da profundidade, a forma da curva tende a estabilizar-se antes das cinco voltas, tornando possível a determinação do torque residual, Figura 94. Esse comportamento está bem refletido no SP2, Figura 95.

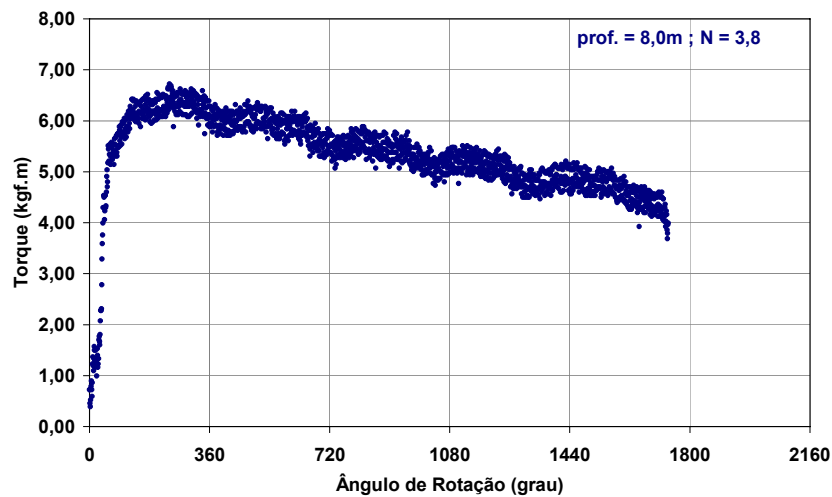


FIGURA 93 - Curva típica 1 para a camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos - EESC – USP

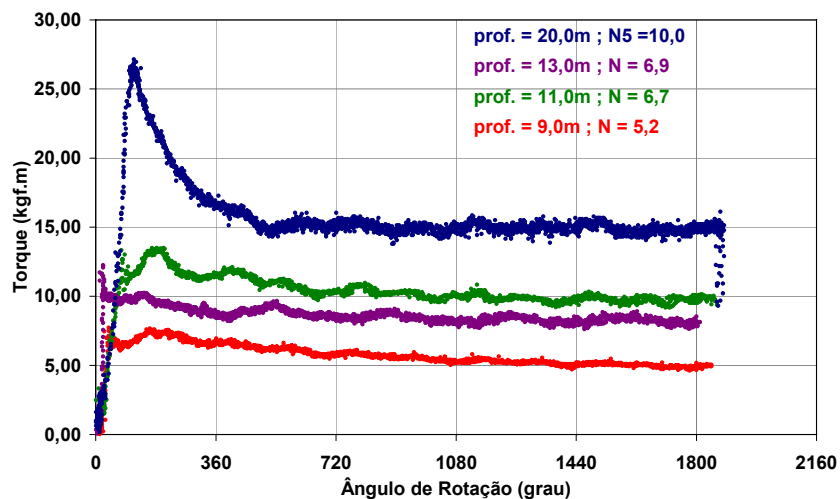


FIGURA 94 - Curva típica 2 para a camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos - EESC – USP

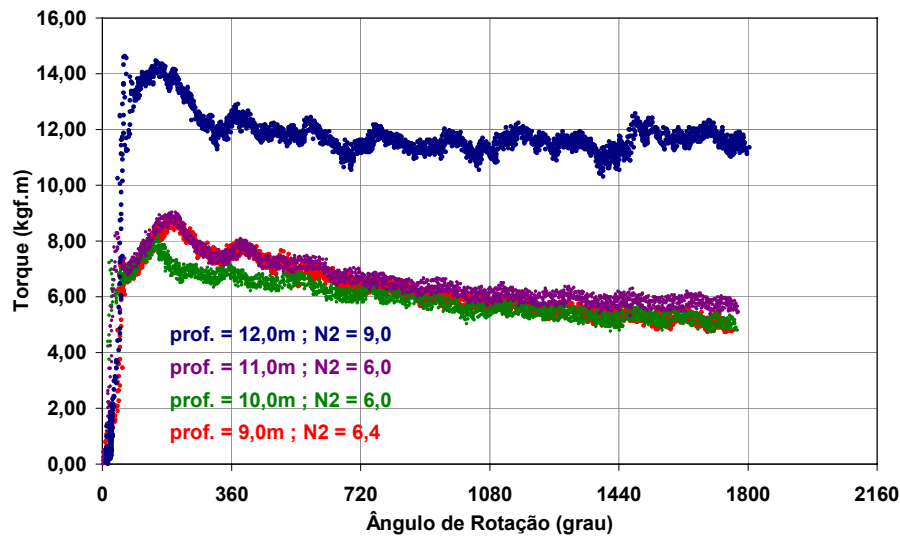


FIGURA 95 - Curvas do SP2 para a camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos - EESC - USP

6.1.4 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru – Unesp – (SP)

Como já foi descrito anteriormente, esse Campo Experimental possui duas camadas distintas de areia fina e média, argilosa. Na primeira, até 13,0m em média, apresenta índices de resistência à penetração baixos. Na Segunda, localizada abaixo da primeira, o valor N cresce em função da profundidade.

– *Areia fina e média, argilosa*

A curva da Figura 96 representa a primeira camada e, a partir dos 14,0m, as curvas possuem o comportamento da Figura 97.

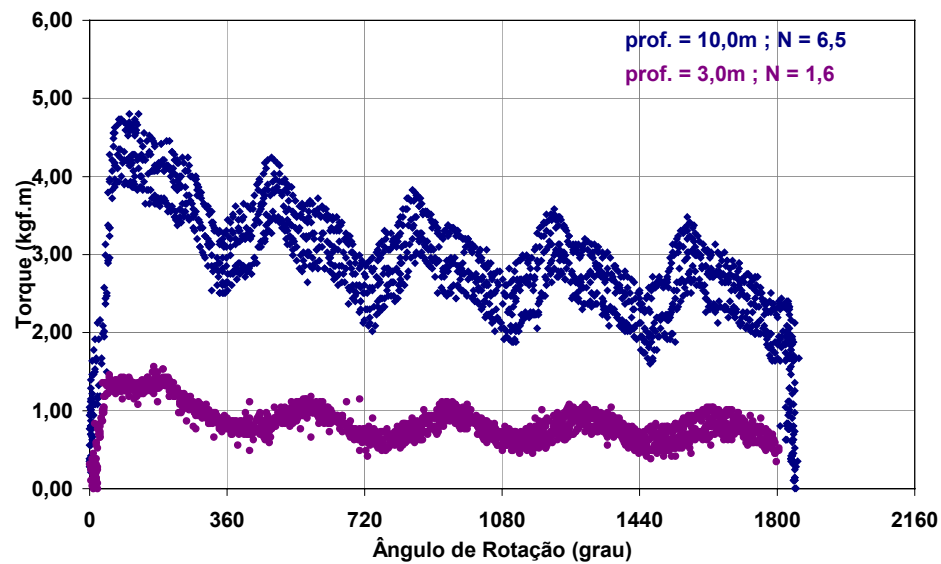


FIGURA 96 - Curva típica 1 para a camada areia fina e média, argilosa - Unesp - Bauru

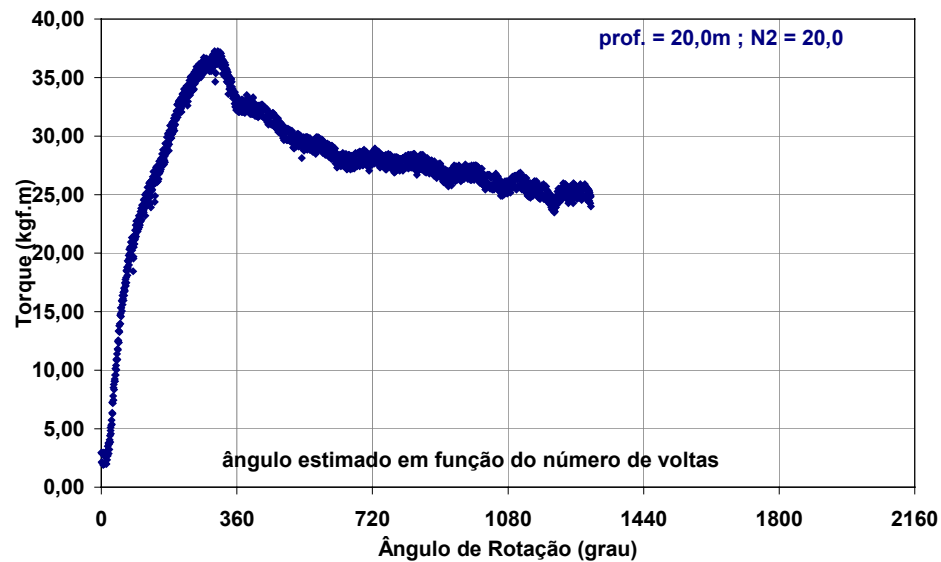


FIGURA 97 - Curva típica 2 para a camada areia fina e média, argilosa - Unesp - Bauru

— *Argila muito siltosa, pouco arenosa*

Foram encontrados alguns veios de argila muito siltosa, cuja curva típica está representada na Figura 98.

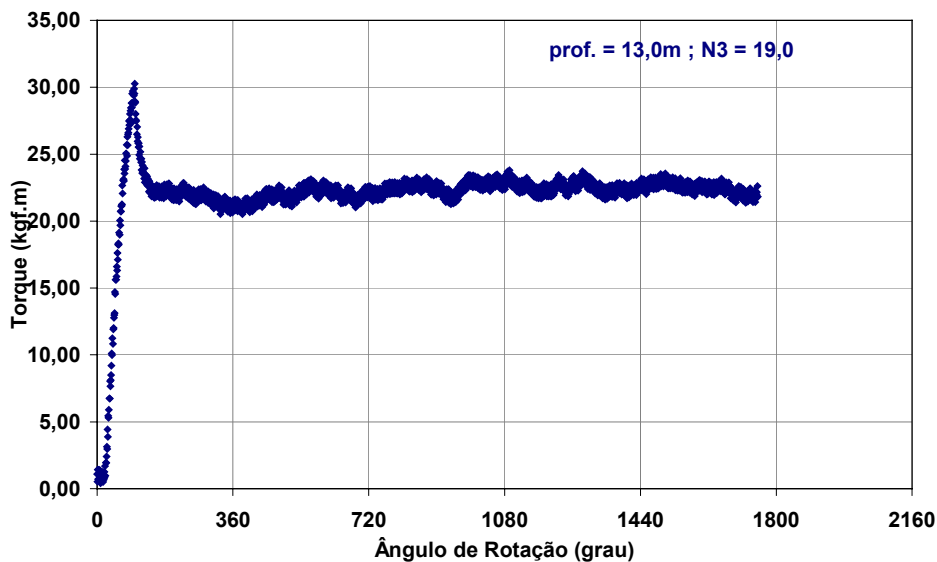


FIGURA 98 - Curva típica para a camada de argila muito siltosa, pouco arenosa - Unesp - Bauru

6.1.5 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp – (SP)

– *Areia fina e média, argilosa, pouco siltosa*

Os valores de torque são baixos até 5,0m (N entre dois e cinco) e as curvas não apresentam um forma típica definida, como pode ser observado na Figura 99. Contudo, entre 5,0m e 7,0m, pode-se definir uma curva representada na Figura 100 na qual o torque se estabiliza a partir da terceira volta.

Por outro lado, entre 7,0m e 10,0m, os torques residuais não são definidos até cinco voltas, e, de 11,0m até 13,0m, a curva volta a ter o comportamento da

Figura 100, exceção ocorrendo com a curva correspondente ao furo SP1, 12,0m de profundidade, Figura 102.

A partir dos 14,0m, a maioria das curvas não estabilizaram até cinco voltas.

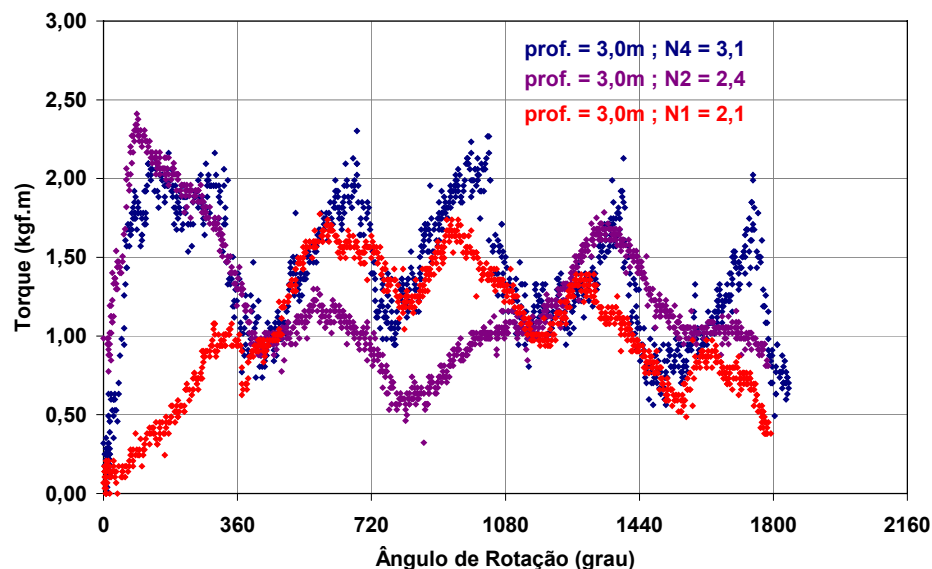


FIGURA 99 - Curvas observadas na camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, até 5,0m de profundidade - Unesp - Ilha Solteira

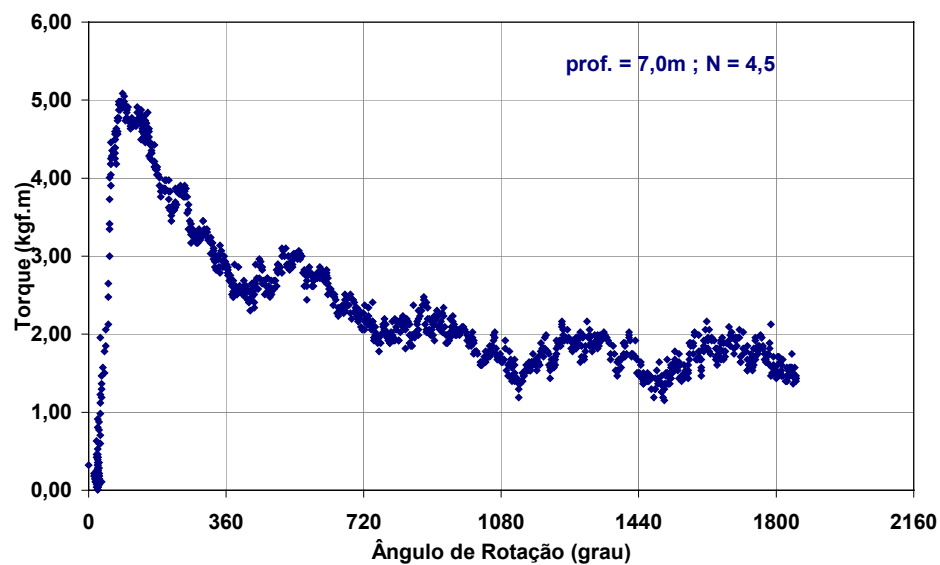


FIGURA 100 - Curva típica para a camada de areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, entre 5,0 e 7,0m - Unesp - Ilha Solteira

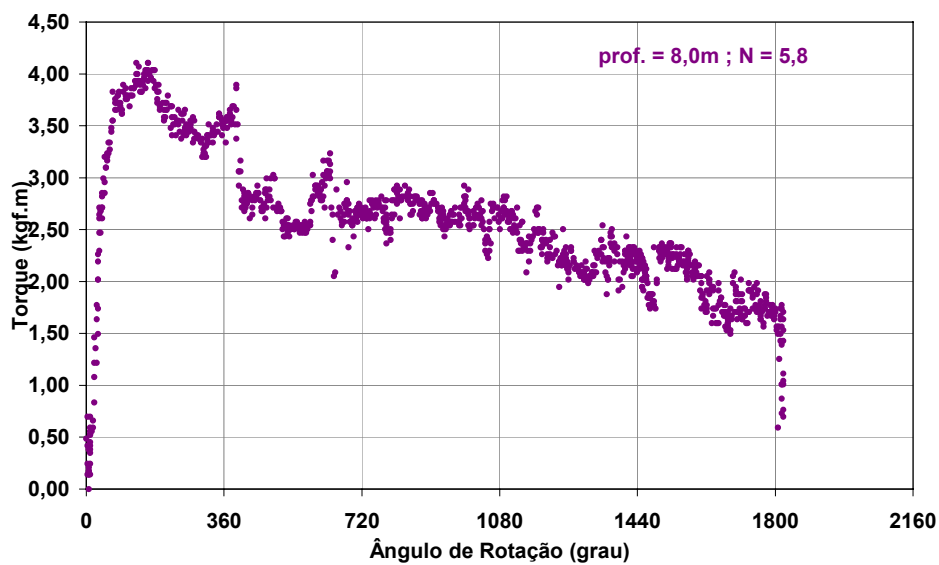


FIGURA 101 - Curva típica para a camada de areia fina e média, argilosa, pouco siltosa - Unesp - Ilha Solteira

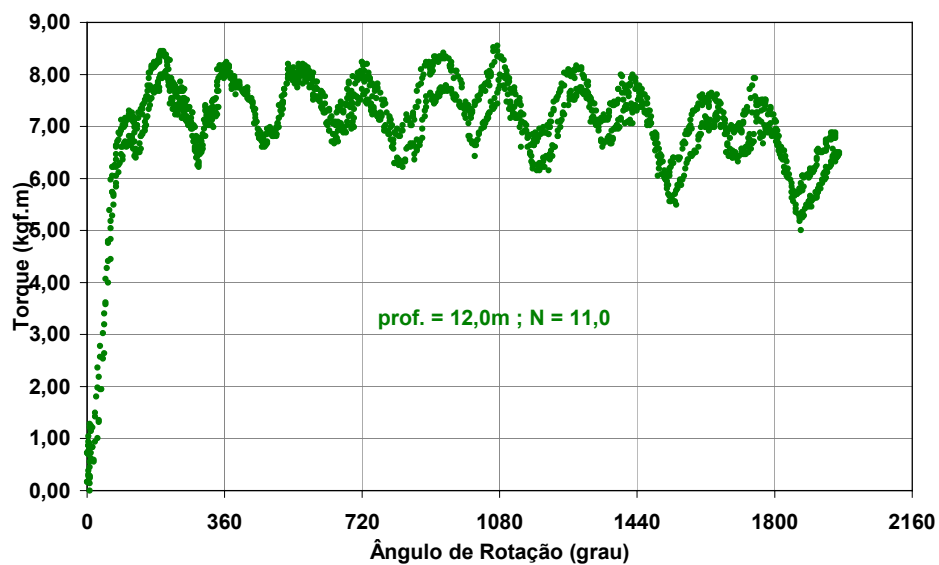


FIGURA 102 - Curva do ensaio SP1 realizado a 12,0m na camada areia fina e média, argilosa, pouco siltosa - Unesp - Ilha Solteira

6.1.6 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP –São Paulo

Neste Campo Experimental, o solo é predominantemente residual, variando entre silte muito arenoso e silte muito arenoso, com pouca argila. Os valores de torque e índice de resistência à penetração são altos, logo nos primeiros metros (N entre 9 e 20, $T_{\text{máx}}$ entre 18kgf.m e 35kgf.m). Assim, os valores de torque máximo e residual estão bem definidos nas curvas, como pode ser observado nas curvas das Figuras 103 e 104.

– *Silte muito arenoso, com pouca mica (solo residual)*

Esta camada está presente nos primeiros metros dos furos de SP1 a SP3.

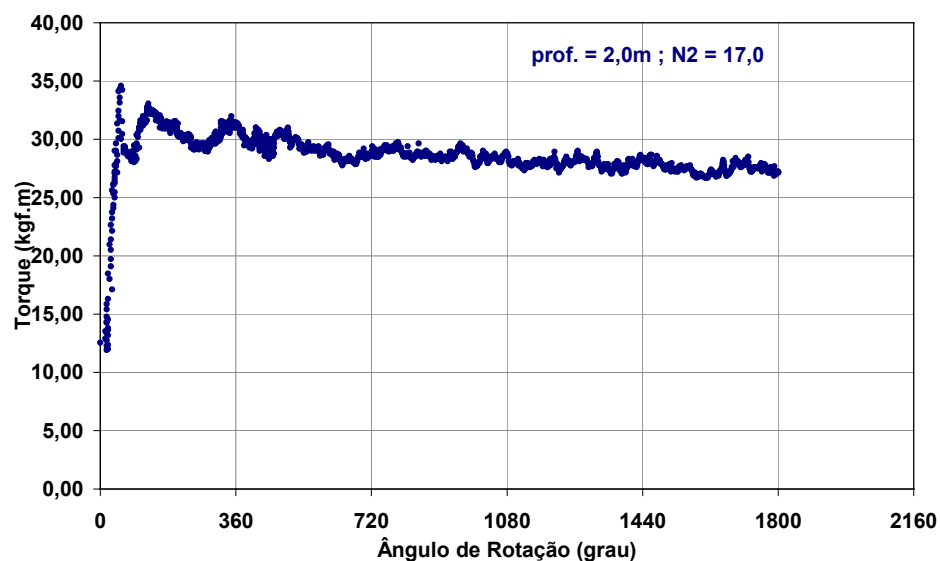


FIGURA 103 - Curva típica para a camada silte muito arenoso, com pouca mica (solo residual) - USP - São Paulo

— *Silte muito arenoso, pouco argiloso, pouca mica (solo residual)*

Esta camada está presente nos furos SP4, SP5 e SP6.

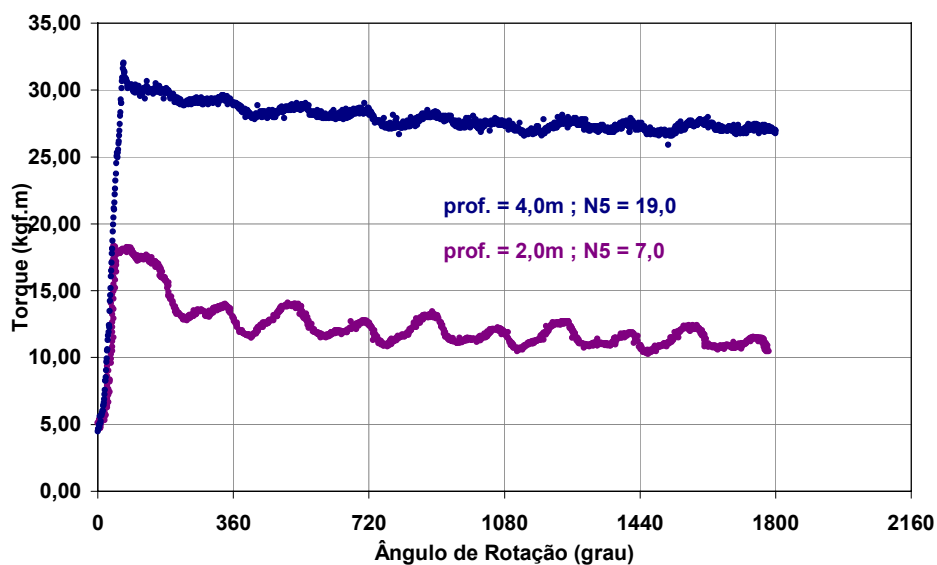


FIGURA 104 - Curva típica para a camada silte muito arenoso, pouco argiloso, pouca mica (solo residual) - USP - São Paulo

6.1.7 – Baixada Santista – Vicente de Carvalho – Guarujá (SP)

Os valores de índice de resistência à penetração são praticamente nulos em toda a profundidade do perfil da sondagem com variação dos torques entre 1,5 e 6,0 kgf.m. Mesmo assim foi possível caracterizar os torques máximo e residual através das curvas, as quais estão representadas na Figura 105.

— *Argila orgânica, marinha, siltosa*

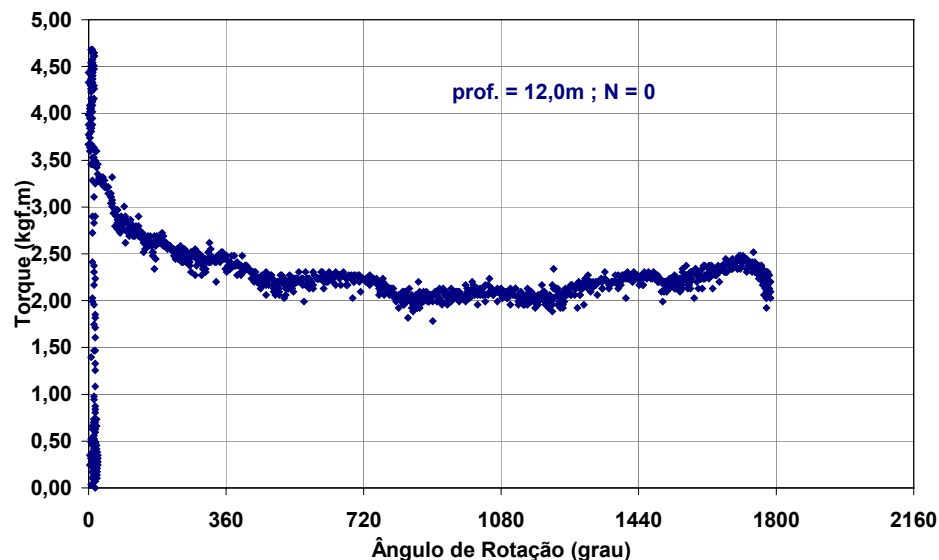


FIGURA 105 - Curva típica para a camada argila orgânica, marinha, siltosa - Baixada Santista (SP)

6.1.8 – Comentários gerais sobre a forma das curvas

Através dos 469 gráficos obtidos, cujas curvas típicas foram apresentadas neste item, pode-se constatar:

- Bom funcionamento dos equipamentos Torquímetro Elétrico, Medidor do Ângulo-de-rotação e Sistema de Aquisição de Dados;
- Perfeita definição da curva até as cinco voltas estabelecidas para o ensaio;
- Valor do torque máximo bem definido através de um pico inicial;
- Como já foi explicado no Capítulo 4, Torquímetro Elétrico, Medida do Ângulo e Execução dos Ensaios *SPT-T*, as pequenas oscilações são devidas ao passo

do operador. As oscilações que ocorrem num período médio de 360° , provavelmente, são devidas a algum problema mecânico durante a realização do ensaio, como por exemplo, algum atrito entre o disco-centralizador e a haste, ou mesmo entre a haste e a parede do furo.

6.2 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBTIDOS ELETRONICAMENTE E OS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO TORQUÍMETRO ANALÓGICO

Foram comparados $T_{m\acute{a}x}$, torque máximo medido no torquímetro analógico, com $TE_{m\acute{a}x}$, torque máximo obtido através do torquímetro elétrico, T_{res} , torque residual medido no torquímetro analógico, com os torques elétricos TE_{res} mínimo e TE_{res} máximo para cada tipo de solo de cada Campo Experimental.

O TE_{res} mínimo corresponde aos pontos inferiores da oscilação ocorrida a cada 360° e o TE_{res} máximo, aos pontos superiores da mesma. Esta nomenclatura está representada na Figura 106. Os valores de cada um correspondem às respectivas médias das medidas de cada oscilação.

Esta análise está sendo realizada para se verificar se as leituras obtidas no torquímetro analógico correspondem àquelas obtidas através das curvas, mostrando, assim, se o equipamento analógico é adequado para ser utilizado na prática.

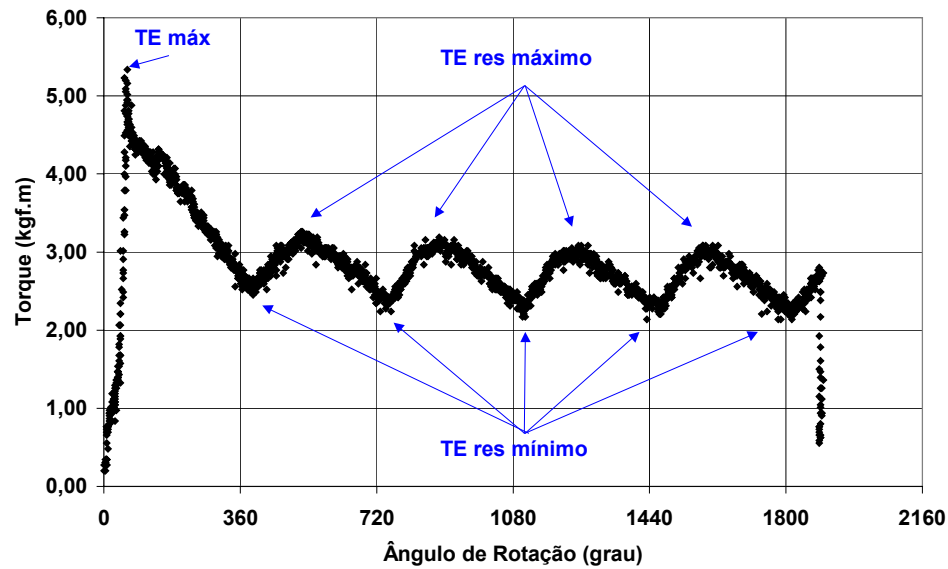


FIGURA 106 - Nomenclaturas dos torques obtidos através da curva

Este estudo foi realizado, através de uma análise estatística de dados pareados, com um Teste de Hipóteses para as diferenças entre pares de resultados. Foram feitos também gráficos para cada Campo Experimental, com o objetivo de possibilitar uma melhor visualização dos dados pareados.

Sendo : $d_i = TE_i - T_i$ e o Teste de Hipóteses $\begin{cases} H_0 : \delta = 0 \\ H_1 : \delta \neq 0 \end{cases}$ em que δ é a diferença populacional utilizando a distribuição *t de Student*, para $n-1$ graus de liberdade. Considerou-se 5% de nível de significância:

$$\begin{aligned} \bar{d} &= \sum_i d_i / n \\ s_d^2 &= \sum_i (d_i - \bar{d})^2 / (n - 1) \\ t_{obs} &= \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}} \end{aligned} \quad (34)$$

Comparando-se o *t de Student* com o t_{obs} é possível analisar-se se a hipótese H_0 é ou não rejeitada, isto é, pode-se concluir estatisticamente se a diferença entre os resultados é ou não significativa.

Uma vez que essa análise é estatística, e muitas vezes, pode, na prática, não representar uma real significância, foram calculadas também as porcentagens da diferença entre os dois resultados para se obter uma melhor visualização da diferença entre os mesmos.

6.2.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp – Campinas (SP)

Para a análise do Campo Experimental da Unicamp, foram utilizados 96 pares de resultados para cada comparação. As Figuras 107 e 108 proporcionam uma melhor visualização da paridade das medidas. No Quadro 74 estão apresentadas as médias dos torques em função da profundidade, a diferença entre os resultados obtidos através dos dois equipamentos, bem como a porcentagem dessa diferença em relação ao valor medido no torquímetro elétrico. Os resultados dos Testes de Hipóteses estão apresentados no Quadro 75 .

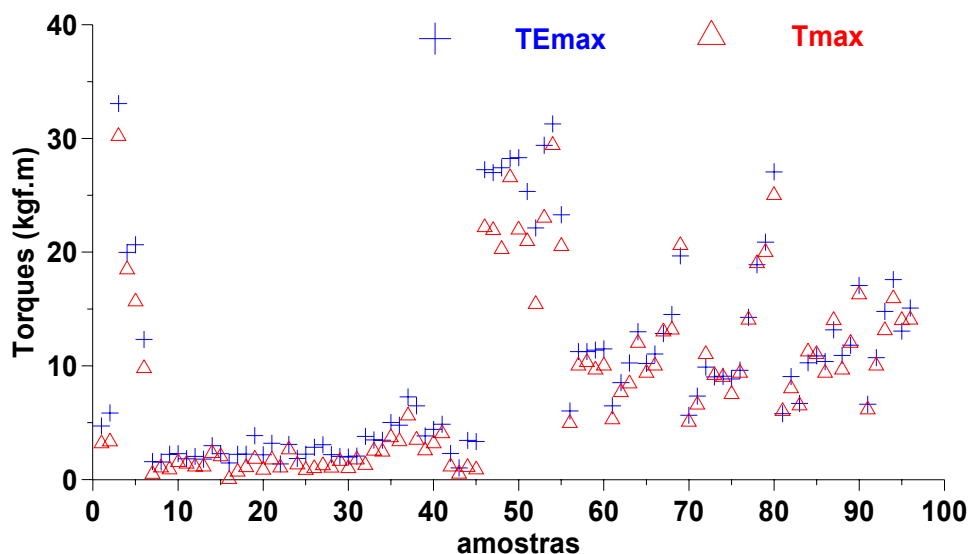


FIGURA 107 - Torques máximos – Unicamp

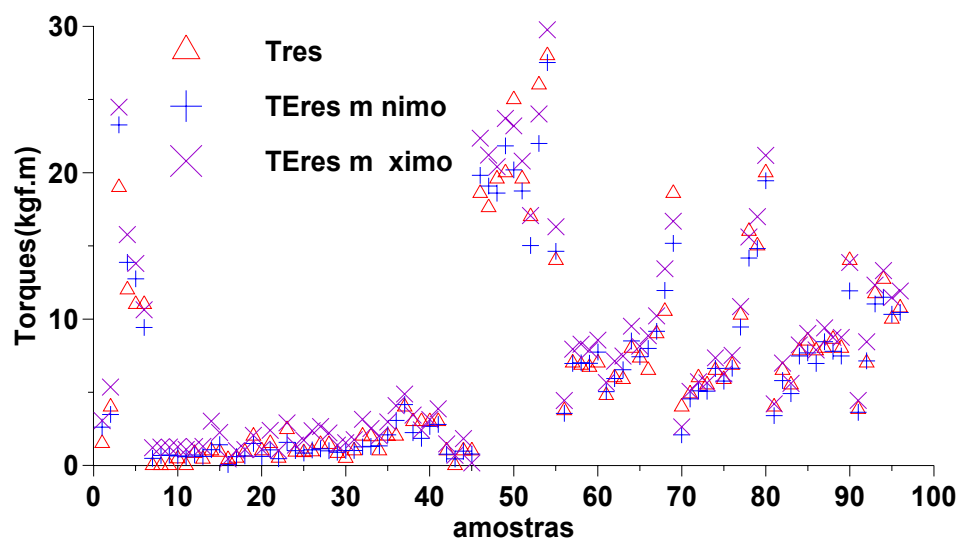


FIGURA 108 - Torques residuais - Unicamp

**QUADRO 74 - Diferenças entre as médias em função da profundidade
Unicamp**

Prof.	$TE_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	d_i	d_i	$TE_{res\ m\acute{a}x}$	$TE_{res\ m\acute{i}n}$	T_{res}	d_i	d_i	d_i	d_i
(m)	(kgf.m)	(kgf.m)	(kgf.m)	$\frac{TE_{m\acute{a}x}}{T_{m\acute{a}x}}$ (%)	(kgf.m)	(kgf.m)	(kgf.m)	m\acute{a}x (kgf.m)	m\acute{i}n (kgf.m)	$\frac{TE_{res\ m\acute{a}x}}{TE_{res\ m\acute{i}n}}$ (%)	$\frac{TE_{res\ m\acute{a}x}}{TE_{res\ m\acute{i}n}}$ (%)
1	2,42	2,15	0,27	11,3	1,14	0,62	2,98	-1,85	-2,36	-162,3	-377,9
2	2,05	1,88	0,17	8,3	1,52	0,79	2,45	-0,93	-1,66	-61,5	-211,8
3	1,86	1,70	0,16	8,8	1,68	0,67	2,48	-0,80	-1,80	-47,6	-268,6
4	2,72	2,71	0,01	0,4	2,14	1,15	1,53	0,61	-0,38	28,5	-33,0
5	3,50	3,60	-0,09	-2,7	2,77	1,64	1,46	1,31	0,18	47,4	11,0
6	3,94	3,51	0,43	11,0	2,61	2,00	3,92	-1,30	-1,92	-49,9	-95,9
7	5,22	4,86	0,37	7,0	3,36	2,42	3,88	-0,52	-1,46	-15,4	-60,1
8	7,05	6,21	0,84	12,0	4,37	4,04	5,75	-1,38	-1,71	-31,6	-42,3
9	7,96	7,97	-0,01	-0,2	5,83	5,14	4,45	1,37	0,69	23,6	13,4
10	10,77	10,69	0,08	0,7	8,25	7,29	6,30	1,95	0,99	23,6	13,6
11	11,80	11,24	0,56	4,8	8,73	7,86	7,50	1,23	0,37	14,1	4,7
12	11,33	10,83	0,50	4,4	8,81	7,70	7,26	1,54	0,44	17,5	5,7
13	12,01	11,65	0,37	3,1	8,91	8,24	7,37	1,54	0,87	17,3	10,5
14	14,04	12,68	1,36	9,7	10,21	9,77	9,63	0,58	0,14	5,7	1,5
15	15,13	14,80	0,33	2,2	10,42	10,26	8,86	1,56	1,40	15,0	13,6
16	17,48	17,34	0,14	0,8	14,29	12,89	10,49	3,80	2,40	26,6	18,6
17	23,34	24,88	-1,54	-6,6	16,65	16,41	12,19	4,46	4,23	26,8	25,7
18	27,36	35,21	-7,85	-28,7	22,59	20,36	11,50	11,09	8,87	49,1	43,5

QUADRO 75 - Resultado das análises para dados pareados - Unicamp

Análises	<i>TE</i>máx e <i>T</i>máx	<i>TE</i>res máximo e <i>T</i>res	<i>TE</i>res mínimo e <i>T</i>res
n	96	96	96
$\bar{d}$	0,2730	0,8906	0,1773
s_d	1,2755	1,1396	1,1423
t_{obs}	2,0971	7,6571	1,5208
Conclusão	Rejeitar H_0	Rejeitar H_0	Não rejeitar H_0

Analizando-se a diferença entre os torques máximos obtidos através dos dois equipamentos, percebe-se que a porcentagem da diferença entre os resultados médios para cada profundidade é pequena (média de 2,6%). Por outro lado, ao se realizar o Teste para Dados Pareados, a hipótese de que não haveria diferença entre as duas medidas foi rejeitada. Portanto, as duas análises não apresentam o mesmo resultado. Avaliando-se a Figura 107 e o Quadro 74, pode-se concluir que a análise do Quadro 75 talvez seja muito rígida para o nível de precisão que o ensaio *SPT-T* fornece. Assim, pode-se concluir que os dois resultados, na prática, se equívalem.

Também é importante ressaltar que o torquímetro analógico, que foi utilizado nos ensaios dessa pesquisa, não possuía ponteiro de arraste, sendo que esse procedimento foi adotado para refletir melhor o que vem sendo utilizado na prática. Como o torque máximo é atingido quase que instantaneamente, sua precisão pode ser melhorada, utilizando-se um torquímetro com ponteiro de arraste.

Avaliando os torques residuais, percebe-se claramente uma maior diferença para os valores menores que quatro. Isto ocorre porque o nível de precisão do torquímetro analógico é 1 kgf.m, e também porque o equipamento utilizado R-350, mais usado na prática, possui capacidade mínima de 10 kgf.m, enquanto que, no

torquímetro elétrico, a precisão calculada em função da calibração foi de 0,05kgf.m. Assim, desconsiderando-se os valores menores, nota-se claramente que os valores correspondentes ao *TEres mínimo* são os que mais se aproximam do *Tres*, corroborando o Quadro 75.

6.2.2 – Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)

Para este Campo Experimental, todas as medidas estão representadas nas Figuras 109 e 110. Os resultados dos cálculos das diferenças das médias dos resultados obtidos através dos dois equipamentos, em função da profundidade, estão apresentados no Quadro 76.

Para a análise de Dados Pareados foram utilizados 32 pares de medidas de os *TE_{máx}* e *T_{máx}* para a análise. Os resultados foram: $t_{31;2,5\%} = 2,0404$; $\bar{d} = 0,332$; $s_d^2 = 1,1197$; $s_d = 1,058$ e $t_{obs} = 1,775$. Como $t_{31;2,5\%} > t_{obs}$, a hipótese H_0 não é rejeitada e pode-se concluir que a diferença entre os dois resultados não é significativa para nível de significância 5%, em conformidade aos dados contidos no Quadro 76 e na Figura 109.

Os resultados das análises de Dados Pareados entre os torques residuais estão apresentados no Quadro 77. Foi observado que, das 32 curvas torque *versus* ângulo-de-rotação analisadas, em 12 curvas o torque não tendeu para um valor constante em cinco voltas. Portanto, a análise foi feita primeiramente para

todas as curvas e, depois, apenas para aquelas nas quais o torque se estabilizou no intervalo de cinco voltas. Segundo esse estudo, os torques residuais máximo e mínimo não representam o valor medido através do torquímetro analógico.

Mas, observando-se a Figura 110, nota-se que os valores do *TEres mínimo* estão bem próximos dos valores analógicos e a diferença entre ambos, *di min*, apresentada no Quadro 76, é satisfatória para o nível de precisão do ensaio *SPT*.

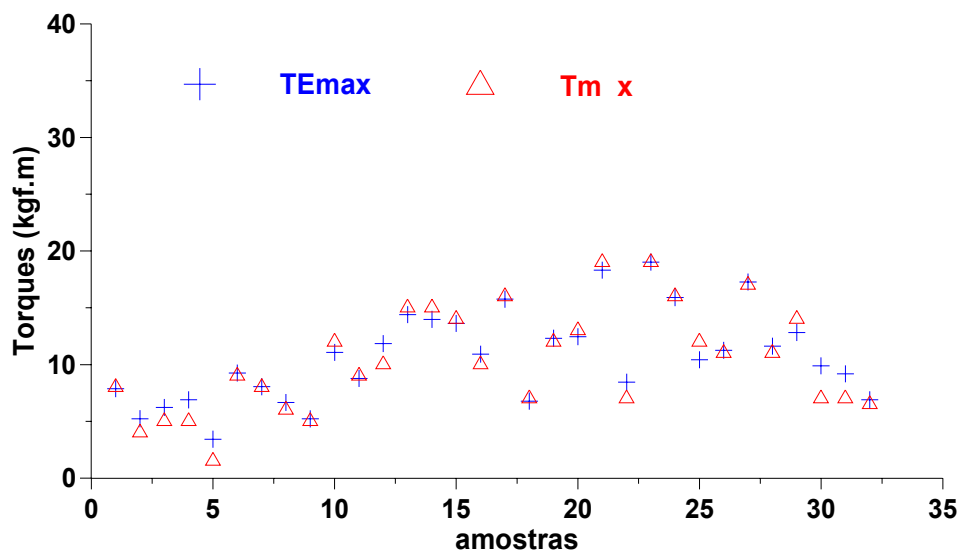


FIGURA 109 - Torques máximos – UFLA

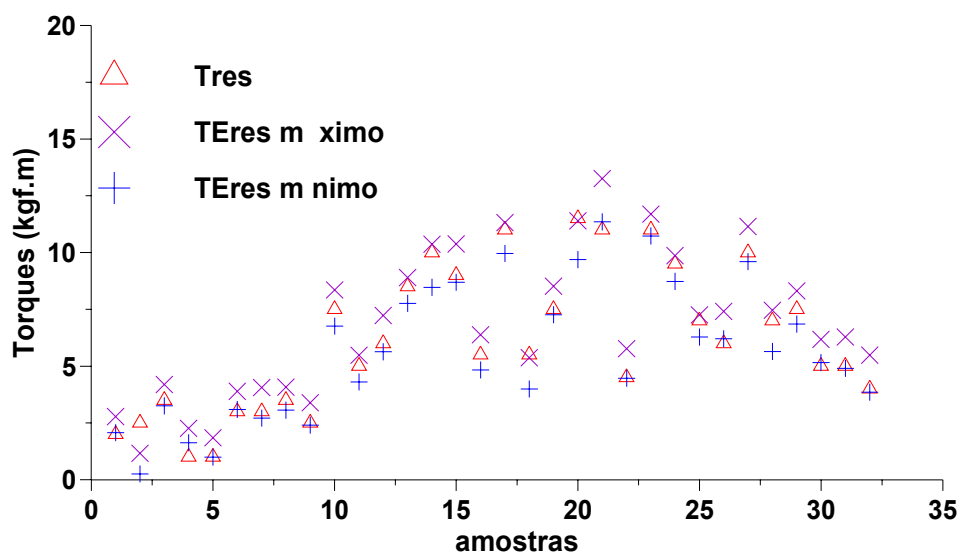


FIGURA 110 - Torques residuais – UFLA

QUADRO 76 - Diferenças entre as médias em função da profundidade - UFLA

Prof.	<i>TE</i> _{máx}	<i>T</i> _{máx}	<i>d</i> _j	<i>d</i> _i	<i>TE</i> _{res máx}	<i>TE</i> _{res mín}	<i>T</i> _{res}	<i>d</i> _j	<i>d</i> _j	<i>d</i> _i	<i>d</i> _i
(m)	(kgf.m)	(kgf.m)	(kgf.m)	<i>TE</i> _{máx} (%)	(kgf.m)	(kgf.m)	(kgf.m)	máx (kgf.m)	min (kgf.m)	<i>TE</i> _{res máx} (%)	<i>TE</i> _{res mín} (%)
1	4,71	2,99	1,72	36,5	1,85	1,19	0,90	0,95	0,29	51,2	24,1
2	8,18	8,13	0,05	0,6	3,40	2,45	2,38	1,03	0,08	30,2	3,1
3	6,64	6,00	0,64	9,6	3,08	1,48	2,75	0,33	-1,27	10,8	-85,8
4	6,37	5,43	0,93	14,6	4,08	3,12	3,46	0,62	-0,34	15,1	-10,9
5	9,25	6,78	2,47	26,7	6,11	4,87	4,84	1,27	0,03	20,8	0,6
6	5,57	5,30	0,28	5,0	4,55	2,88	3,00	1,55	-0,12	34,1	-4,0
7	12,16	12,23	-0,07	-0,6	8,17	7,79	6,60	1,57	1,19	19,2	15,3
8	13,06	13,50	-0,44	-3,4	10,43	7,54	7,71	2,72	-0,17	26,1	-2,3
9	9,80	8,21	1,59	16,2	6,10	4,88	5,07	1,03	-0,20	16,9	-4,0
10	16,55	16,84	-0,28	-1,7	10,69	9,16	9,66	1,03	-0,50	9,7	-5,4
11	14,28	14,84	-0,56	-3,9	9,75	8,24	9,34	0,40	-1,11	4,1	-13,5
12	11,45	12,36	-0,91	-8,0	8,02	7,13	7,62	0,40	-0,48	5,0	-6,8
13	10,72	10,16	0,56	5,2	6,91	5,33	5,56	1,34	-0,23	19,4	-4,4
14	16,14	16,14	0,00	0,0	11,04	9,58	10,29	0,75	-0,71	6,8	-7,4
15	8,91	8,71	0,20	2,2	6,61	4,65	6,03	0,58	-1,37	8,8	-29,5
16	12,29	12,70	-0,41	-3,3	8,25	6,91	7,34	0,91	-0,43	11,0	-6,2
17	11,96	12,11	-0,15	-1,2	11,14	4,74	10,63	0,52	-5,89	4,6	-124,2

QUADRO 77 - Resultado das análises entre os torques residuais - UFLA

Análises	<i>TE</i> res máximo e <i>T</i> _{res}		<i>TE</i> res mínimo e <i>T</i> _{res}	
n	32	20	32	20
$\bar{d}$	0,7719	0,7120	0,4994	0,425
<i>s</i> _d	0,6266	0,6269	0,6468	0,6480
<i>t</i> _{obs}	6,9686	5,0791	4,3677	2,9330
$t_{31,2,5\%} = 2,0404$ $t_{19,2,5\%} = 2,0930$				
Conclusão	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada

6.2.3 – Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos USP (SP)

Nas Figuras 111 e 112 estão representados todos os resultados obtidos nesse Campo Experimental.

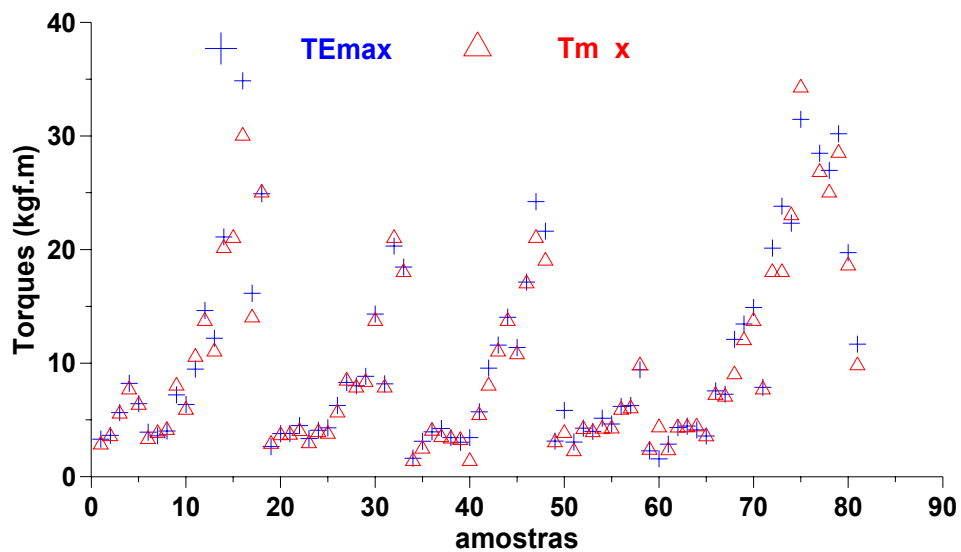


FIGURA 111 - Torques máximos - EESC - USP

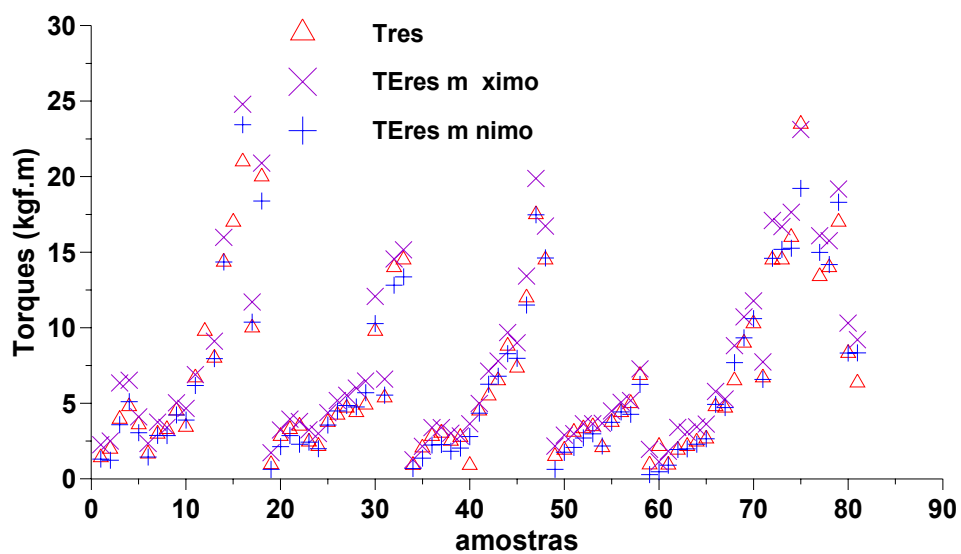


FIGURA 112 - Torques residuais - EESC – USP

Através do Quadro 78, pode-se novamente concluir que existe uma boa concordância entre $TE_{máx}$ e $T_{máx}$, embora, na análise de Dados Pareados realizada com 78 pares de medidas, os resultados $t_{77;2,5\%} = 1,9919$; $\bar{d} = 0,6054$; $s_d = 1,2558$, $t_{obs} = 4,2575$, e por consequência, $t_{77;2,5\%} < t_{obs}$, levariam à hipótese de que H_0 seria rejeitada, significando assim, que a diferença entre os dois resultados é significativa para nível de significância 5%.

QUADRO 78 - Diferenças entre as médias em função da profundidade EESC - USP

Prof. (m)	$TE_{máx}$ (kgf.m)	$T_{máx}$ (kgf.m)	d_i (kgf.m)	d_i $TE_{máx}$ (%)	TE_{res} $máx$ (kgf.m)	TE_{res} $mín$ (kgf.m)	T_{res} (kgf.m)	d_i $máx$ (kgf.m)	d_i $mín$ (kgf.m)	d_i $TE_{res}^{máx}$ (%)	d_i $TE_{res}^{mín}$ (%)
1	2,59	2,47	0,12	4,6	1,86	0,69	1,14	0,72	-0,45	38,7	-64,6
2	3,58	3,56	0,02	0,6	2,37	1,38	2,18	0,19	-0,80	8,0	-57,7
3	3,85	3,55	0,3	7,8	3,69	2,32	2,81	0,88	-0,48	23,9	-20,8
4	5,11	4,72	0,39	7,6	4,14	2,85	3,31	0,83	-0,46	20,1	-16,0
5	4,33	4,16	0,17	3,9	3,41	2,44	2,83	0,57	-0,39	16,8	-16,0
6	4,05	3,80	0,25	6,2	3,05	1,98	2,22	0,83	-0,24	27,2	-12,2
7	3,90	3,33	0,57	14,6	3,97	3,12	2,80	1,16	0,31	29,3	10,0
8	5,94	5,63	0,31	5,2	4,88	4,20	4,24	0,64	-0,03	13,1	-0,8
9	7,70	7,49	0,21	2,7	5,62	4,86	4,88	0,75	-0,02	13,3	-0,4
10	9,48	8,70	0,78	8,2	6,90	5,87	5,53	1,37	0,33	19,8	5,7
11	11,44	11,14	0,3	2,6	8,43	7,37	7,35	1,09	0,02	12,9	0,3
12	13,80	12,97	0,83	6,0	10,94	9,61	9,13	1,81	0,48	16,6	5,0
13	11,33	10,87	0,46	4,1	9,21	7,89	8,02	1,19	-0,13	12,9	-1,7
14	21,43	20,03	1,4	6,5	16,87	14,81	15,09	1,78	-0,29	10,6	-1,9
15	21,29	19,00	2,29	10,8	16,18	14,39	14,50	1,68	-0,11	10,4	-0,8
16	28,59	26,50	2,09	7,3	21,22	19,35	18,50	2,72	0,84	12,8	4,4
17	23,80	24,12	-0,32	-1,3	17,40	14,80	16,74	0,66	-1,95	3,8	-13,1

Para a obtenção do torque residual foi considerada a estabilização da curva até 5 voltas, sendo que isso ocorreu em 62 curvas das 78 analisadas. Os resultados das análises estão apresentados no Quadro 79 e o $TE_{res} \text{ mínimo}$ é aquele que corresponde à medida analógica.

Outra vez é importante ressaltar as diferenças das medidas dos dois equipamentos para medidas abaixo de 4 kgf.m.

QUADRO 79 - Resultado das análises entre os torques residuais - EESC - USP

Análises	<i>TE res máximo e Tres</i>		<i>TE res mínimo e Tres</i>	
n	78	62	78	62
$\bar{d}$	1,0962	1,1395	0,1333	0,1566
s_d	0,8366	0,8206	0,8740	0,8787
t_{obs}	11,5723	10,9339	1,3469	1,4033
$t_{77;2,5\%} = 1,9919$ $t_{61;2,5\%} = 2,0020$				
Conclusão	Rejeitada	Rejeitada	Não Rejeitada	Não Rejeitada

6.2.4 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru – Unesp – (SP)

Os valores medidos através dos dois equipamentos, elétrico e analógico, estão apresentados nas Figuras 113 e 114.

No Quadro 81 estão as médias em função da profundidade e as porcentagens das diferenças entre os valores medidos pelos dois equipamentos em relação ao equipamento elétrico.

Para as medidas dos torques máximos, o Quadro 80 mostra a concordância dos dois valores apesar de a análise de Dados Pareados ser desfavorável, para um nível de significância de 5%, com resultados de 69 pares de medidas iguais a:

$$t_{68;2,5\%} = 1,9976 ; \bar{d} = 0,3420 ; s_d = 1,0713 , t_{obs} = 2,6518 \text{ e } t_{68;2,5\%} < t_{obs} .$$

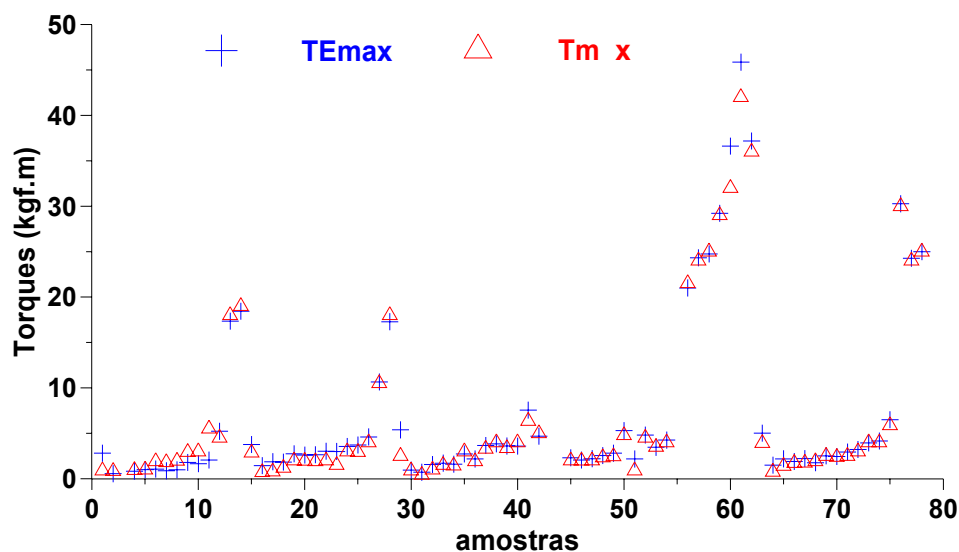


FIGURA 113 - Torques máximos - Unesp - Bauru

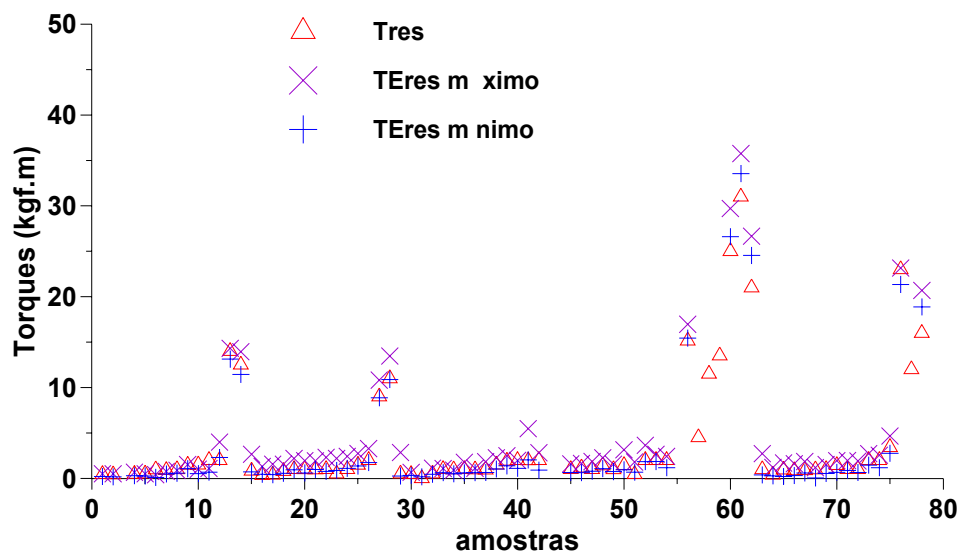


FIGURA 114 - Torques residuais - Unesp – Bauru

Os resultados das análises para os torques residuais estão no Quadro 81, sendo que 69 foi o número total de curvas analisadas e nestas, o torque residual estabilizou-se em 49 curvas. As grandes dispersões encontradas no Quadro 80, provavelmente, referem-se à imprecisão do equipamento analógico para baixos valores.

**QUADRO 80 - Diferenças entre as médias em função da profundidade -
Unesp - Bauru**

Prof. (m)	<i>TE</i> _{máx} (kgf.m)	<i>T</i> _{máx} (kgf.m)	<i>d</i> _i (kgf.m)	<i>d</i> _i <i>TE</i> _{máx} (%)	<i>TE</i> _{res máx} (kgf.m)	<i>TE</i> _{res mín} (kgf.m)	<i>T</i> _{res} (kgf.m)	<i>d</i> _{i máx} (kgf.m)	<i>d</i> _{i min} (kgf.m)	<i>d</i> _i <i>TE</i> _{res máx} (%)	<i>d</i> _i <i>TE</i> _{res mín} (%)
0,5	4,32	3,03	1,29	29,8	2,30	0,49	0,95	1,35	-0,46	58,6	-95,5
1	1,11	0,80	0,31	27,8	0,90	0,30	0,40	0,50	-0,10	55,2	-33,1
2	1,59	0,87	0,72	45,4	1,61	0,25	0,44	1,17	-0,19	72,5	-75,0
3	1,68	1,37	0,31	18,5	1,30	0,45	0,73	0,57	-0,27	44,1	-60,6
4	1,94	1,65	0,30	15,2	1,44	0,61	0,91	0,53	-0,30	36,8	-49,2
5	1,84	1,84	0,00	-0,2	1,24	0,41	0,97	0,27	-0,56	21,7	-138,2
6	2,26	2,31	-0,05	-2,4	1,64	0,74	1,05	0,58	-0,32	35,6	-43,2
7	2,28	2,14	0,14	6,2	1,54	0,67	1,07	0,47	-0,40	30,6	-60,0
8	3,33	3,00	0,33	9,9	2,11	0,87	1,07	1,04	-0,20	49,4	-22,7
9	2,88	2,78	0,10	3,5	1,86	0,79	1,09	0,77	-0,30	41,5	-37,3
10	3,62	4,06	-0,43	-12,0	2,52	1,34	1,88	0,65	-0,54	25,6	-40,4
11	4,20	4,00	0,20	4,7	2,88	1,63	2,00	0,88	-0,37	30,5	-22,5
12	9,25	8,95	0,31	3,3	7,52	5,58	6,08	1,44	-0,49	19,2	-8,8
13	22,00	22,33	-0,34	-1,5	16,84	14,55	15,50	1,34	-0,95	8,0	-6,5
14	22,64	22,76	-0,13	-0,6	16,95	15,44	13,58	3,37	1,86	19,9	12,0
15	24,66	24,50	0,16	0,6	20,67	18,87	10,25	10,42	8,62	50,4	45,7

**QUADRO 81 - Resultado das análises entre os torques residuais - Unesp -
Bauru**

Análises	<i>TE res máximo e</i> <i>Tres</i>		<i>TE res mínimo e</i> <i>Tres</i>	
n	69	49	69	49
$\bar{d}$	1,0462	0,8684	0,2064	0,3482
<i>s</i> _d	1,2291	0,9713	0,8225	0,4964
<i>t</i> _{obs}	7,0705	6,2584	2,0845	4,9101
$t_{68;2,5\%} = 1,9919$ $t_{48;2,5\%} = 2,0020$				
Conclusão	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada

6.2.5 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp – (SP)

Nas Figuras 115 e 116 encontram-se as medidas obtidas através dos dois equipamentos, elétrico e analógico.

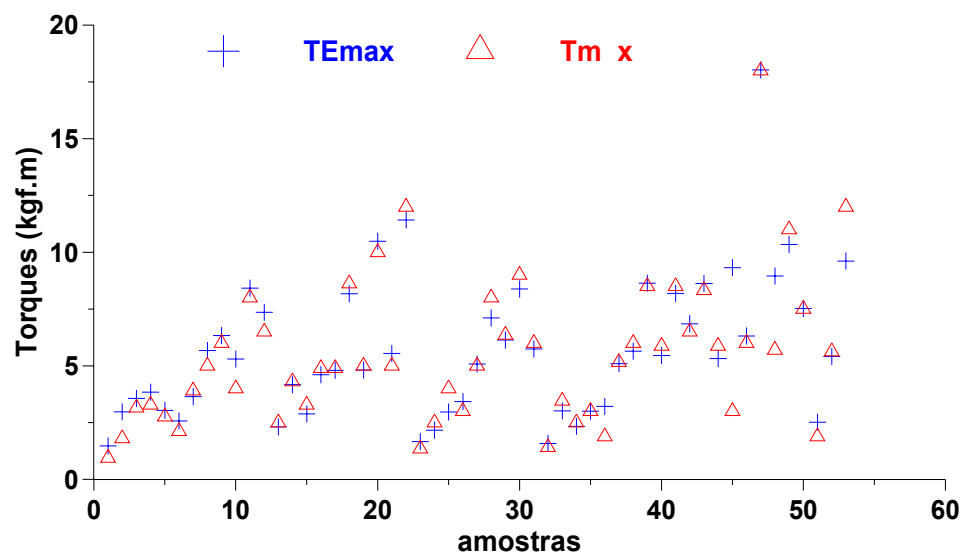


FIGURA 115 - Torques máximos - Unesp - Ilha Solteira

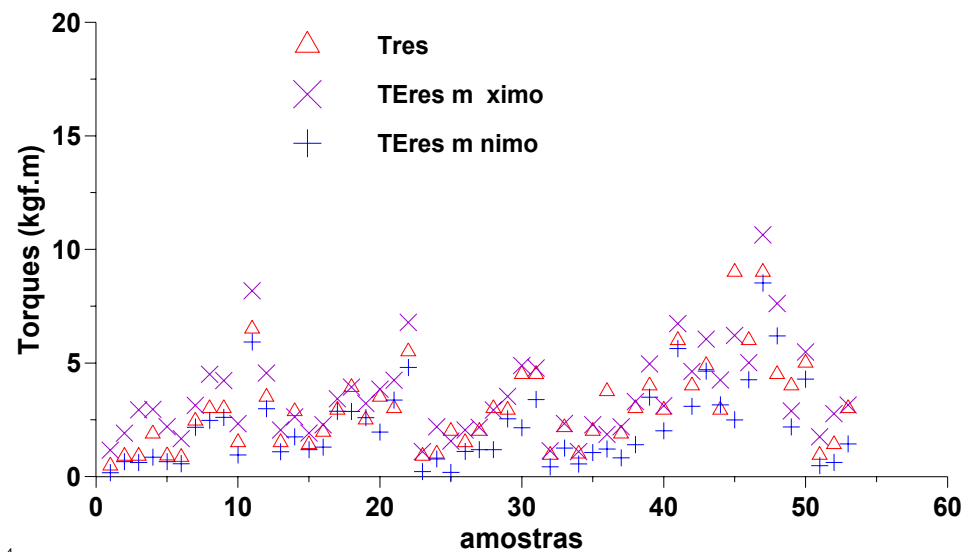


FIGURA 116 - Torques residuais - Unesp - Ilha Solteira

No Quadro 82 estão apresentadas as médias em função da profundidade e as porcentagens das diferenças entre os valores medidos pelos dois equipamentos em relação ao equipamento elétrico.

Mais uma vez fica comprovada a concordância de $TE_{máx}$ e $T_{máx}$, agora em acordo com a análise de Dados Pareados em que foram utilizados 53 pares de medidas, cujos resultados foram: $t_{52;2,5\%} = 2,0077$; $\bar{d} = 0,1892$; $s_d = 1,1441$ e sendo $t_{52;2,5\%} > t_{obs}$, tornando a hipótese H_0 não rejeitada, podendo-se, então, concluir que a diferença entre os dois resultados não é significativa para nível de significância 5%.

QUADRO 82 - Diferenças entre as médias em função da profundidade - Unesp – Ilha Solteira

Prof. (m)	$TE_{máx}$ (kgf.m)	$T_{máx}$ (kgf.m)	d_i (kgf.m)	$\frac{d_i}{TE_{máx}}$ (%)	$TE_{res\ máx}$ (kgf.m)	$TE_{res\ mín}$ (kgf.m)	T_{res} (kgf.m)	d_i $máx$ (kgf.m)	d_i min (kgf.m)	$\frac{d_i}{TE_{res\ máx}}$ (%)	$\frac{d_i}{TE_{res\ mín}}$ (%)
1	4,75	5,11	-0,36	-7,6	2,20	0,67	1,46	0,74	-0,78	33,8	-116,4
2	1,96	1,39	0,57	29,2	1,37	0,43	0,93	0,44	-0,50	32,3	-118,0
3	2,34	2,24	0,10	4,2	2,26	1,01	1,29	0,97	-0,28	42,8	-27,7
4	2,38	2,27	0,11	4,4	2,02	0,75	1,09	0,94	-0,34	46,3	-44,7
5	3,49	3,65	-0,16	-4,4	2,35	0,96	2,19	0,16	-1,23	6,8	-129,1
6	3,14	2,73	0,41	12,9	2,00	1,04	1,90	0,10	-0,86	5,1	-83,1
7	4,34	4,29	0,04	1,0	2,07	0,96	1,67	0,40	-0,71	19,1	-73,8
8	4,55	4,70	-0,16	-3,4	3,28	2,15	2,60	0,68	-0,45	20,8	-20,9
9	7,39	7,53	-0,14	-1,9	4,07	2,50	3,48	0,59	-0,98	14,5	-39,3
10	5,68	5,81	-0,13	-2,2	3,52	2,44	2,84	0,68	-0,41	19,2	-16,6
11	8,08	7,88	0,21	2,6	4,44	2,67	3,88	0,57	-1,21	12,8	-45,3
12	6,64	6,38	0,26	4,0	5,45	3,94	4,50	0,95	-0,56	17,4	-14,2

Para os torques residuais, embora as diferenças do Quadro 82 sejam altas e na Análise de Dados Pareados a hipótese de não existir diferença significativa entre os resultados seja significativa, Quadro 83, deve ser considerado o fato dos

valores de torque serem baixos, não atingindo a capacidade mínima do torquímetro.

Na análise de Dados Pareados para torque residual, do total de 53 curvas analisadas, 36 estabilizaram-se antes da quinta volta.

QUADRO 83 - Resultado das análises entre os torques residuais - Unesp - Ilha Solteira

Análises	<i>TE res máximo e Tres</i>		<i>TE res mínimo e Tres</i>	
	n		n	
n	53	36	53	36
$\bar{d}$	0,5409	0,4558	0,8204	0,9825
s_d	0,9128	0,8206	1,0601	1,1201
t_{obs}	4,3140	3,3333	5,6340	5,2629
$t_{52;2,5\%} = 2,0077$ $t_{35;2,5\%} = 2,0338$				
Conclusão	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada

6.2.6 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP –São Paulo

Os dados desse Campo Experimental estão apresentados nas Figuras 117 e 118. A análise das diferenças entre os dois equipamentos, em função da profundidade, está no Quadro 84.

Os resultados das análises de Dados Pareados foram: $t_{49;2,5\%} = 2,0107$; $\bar{d} = 0,6444$; $s_d = 2,1942$ e $t_{obs} = 2,0767$. Como $t_{49;2,5\%} < t_{obs}$, a hipótese H_0 é rejeitada e poder-se-ia concluir que a diferença entre os dois resultados é significativa para nível de significância 5%, mas a diferença entre os dois valores *t student* é muito pequena, o que torna possível se considerar como não sendo

relevante a diferença entre os dois valores. Também no Quadro 84 verifica-se que a diferença entre os dois resultados, em função da profundidade, é pequena, reafirmando-se, portanto, que os dois resultados são considerados iguais na prática.

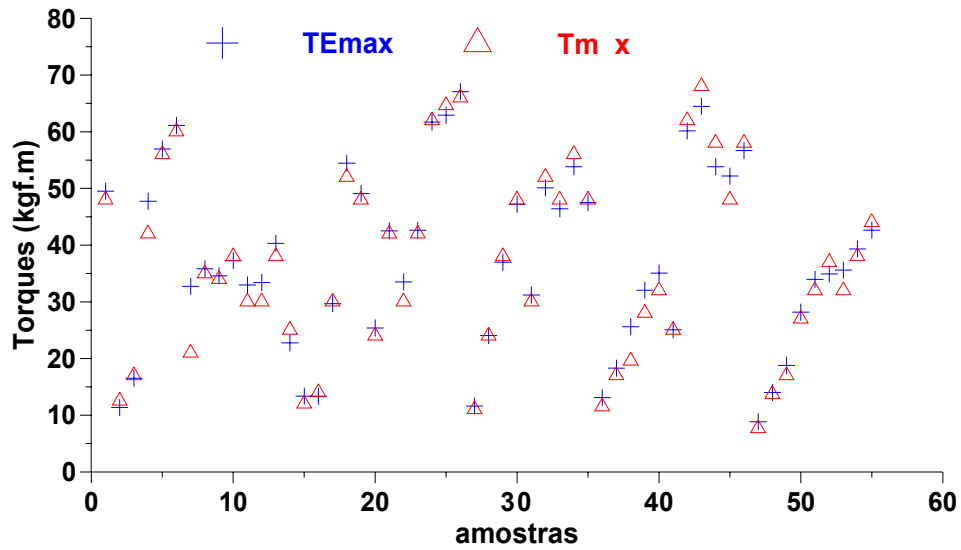


FIGURA 117 - Torques máximos - Politécnica – USP

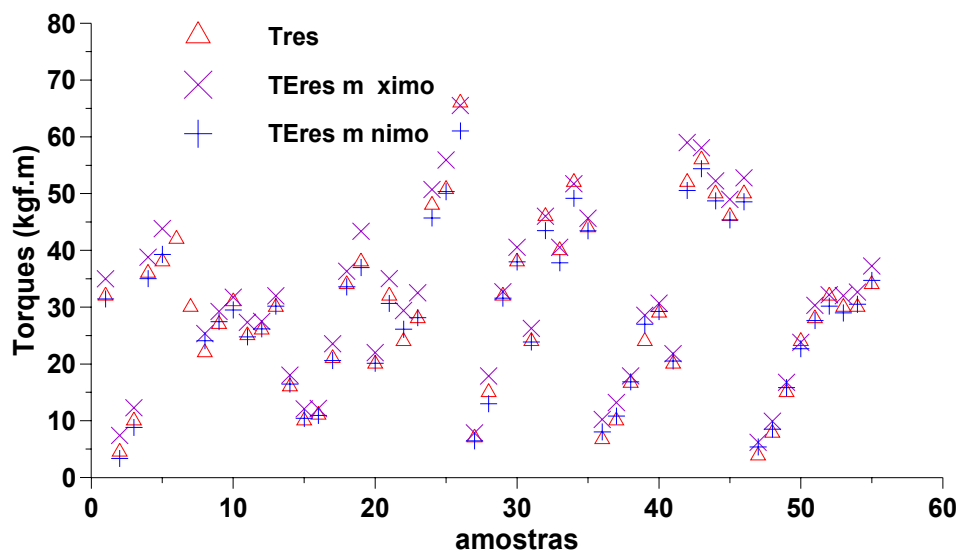


FIGURA 118 - Torques residuais - Politécnica – USP

**QUADRO 84 - Diferenças entre as médias em função da profundidade -
Escola Politécnica - USP**

Prof. (m)	<i>TE</i> _{máx} (kgf.m)	<i>T</i> _{máx} (kgf.m)	<i>d</i> _j (kgf.m)	<i>d</i> _i <i>TE</i> _{máx} (%)	<i>TE</i> _{res máx} (kgf.m)	<i>TE</i> _{res mín} (kgf.m)	<i>T</i> _{res} (kgf.m)	<i>d</i> _j máx (kgf.m)	<i>d</i> _j min (kgf.m)	<i>d</i> _i <i>TE</i> _{res} _{max} (%)	<i>d</i> _i <i>TE</i> _{res} _{min} (%)
1	18,39	17,9	0,45	2,4	11,01	11,31	10,84	0,18	0,47	1,6	4,1
2	26,99	26,3	0,70	2,6	19,12	17,02	17,31	1,81	-0,29	9,5	-1,7
3	33,54	32,1	1,43	4,3	27,97	26,14	26,53	1,44	-0,38	5,2	-1,5
4	35,58	33,2	2,41	6,8	30,88	27,91	27,83	3,05	0,08	9,9	0,3
5	35,22	33,2	2,02	5,7	29,89	27,50	27,80	2,09	-0,30	7,0	-1,1
6	41,19	38,5	2,69	6,5	33,68	31,91	29,50	4,18	2,41	12,4	7,5
7	44,37	43,0	1,37	3,1	38,51	35,61	35,67	2,84	-0,05	7,4	-0,1
8	49,90	50,5	-0,60	-1,2	42,09	38,93	40,67	1,42	-1,73	3,4	-4,5
9	43,38	44,1	-0,74	-1,7	39,68	36,67	36,95	2,73	-0,28	6,9	-0,8
10	43,80	43,0	0,80	1,8	40,95	37,99	39,25	1,70	-1,26	4,2	-3,3

Nesse Campo Experimental, praticamente todas as curvas tiveram o torque residual estabilizado antes da quinta volta, não sendo necessária a avaliação considerando-se todas as curvas e, em separado, somente as que se estabilizaram. No Quadro 85 está apresentado o resumo dos resultados e *TE*_{res mínimo} é novamente considerado igual ao torque residual obtido através do equipamento analógico.

Também é importante observar que nesse Campo Experimental, onde os valores de torque são superiores aos dos outros locais, a diferença entre os resultados dos dois equipamentos também é menor, uma vez que o torquímetro analógico foi utilizado em sua capacidade adequada.

QUADRO 85 - Resultado das análises - Politécnica - USP

Análises	<i>TE</i> res máximo e <i>T</i> _{res}	<i>TE</i> res mínimo e <i>T</i> _{res}
n	49	49
$\bar{d}$	2,4088	0,3822
<i>s</i> _d	1,5718	1,4035
<i>t</i> _{obs}	4,6140	1,9256
$t_{49;2,5\%} = 2,0107$		
Conclusão	Rejeitar <i>H</i> ₀	Não rejeitar <i>H</i> ₀

6.2.7 – Baixada Santista – Vicente de Carvalho – Guarujá (SP)

O solo que compõe o perfil da Baixada Santista na região analisada é composto, basicamente, de argila orgânica de consistência de muito mole a mole e, como já era esperado, seu comportamento saiu do padrão dos outros solos. Foram analisados 18 pares de dados, os quais estão apresentados nos gráficos das Figuras 119 e 120. No Quadro 86 estão mostradas as diferenças dos resultados obtidos através do equipamento elétrico e analógico.

Nesse local foi utilizado o torquímetro analógico da Gedore R-200 (capacidade entre 6-27kgf.m), mais adequado para solos de menor resistência. Isso levou a uma diminuição da diferença entre os resultados dos dois ensaios para valores entre 2 e 4 kgf.m, resultando numa melhor concordância entre os valores de $TE_{máx}$ e $T_{máx}$, embora a Análise de Dados Pareados tenha chegado a uma hipótese H_0 rejeitada, podendo-se concluir, assim, que a diferença entre os dois resultados é significativa para nível de significância 5%.

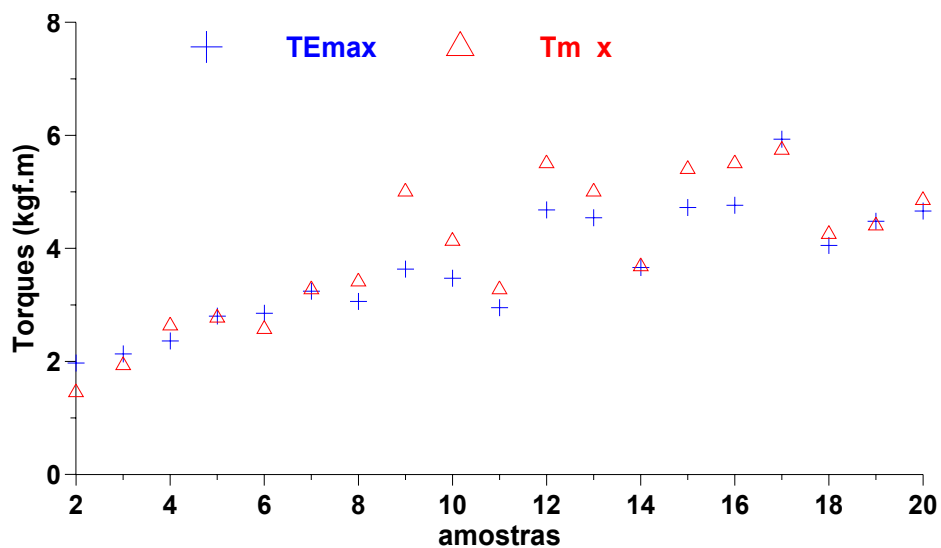


FIGURA 119 - Torques máximos - Baixada Santista

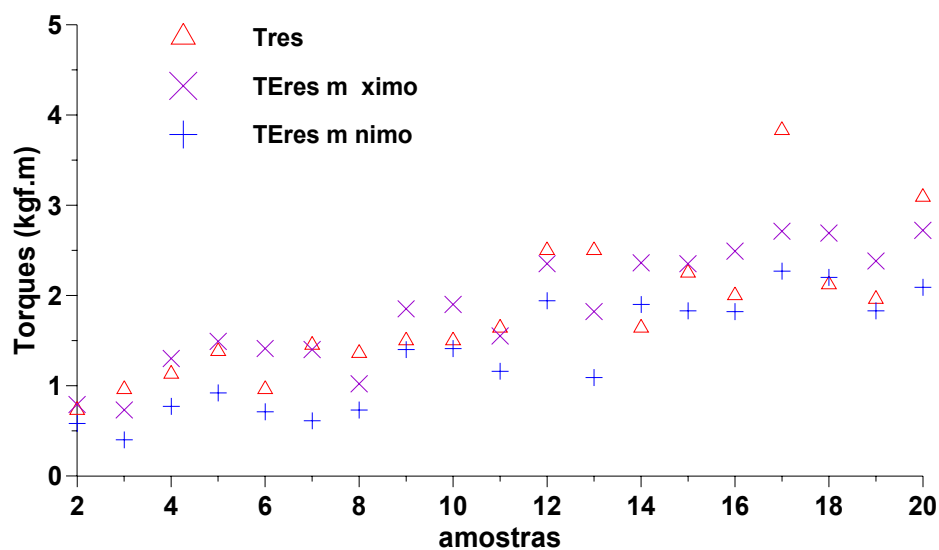


FIGURA 120 - Torques residuais - Baixada Santista

**QUADRO 86 - Diferenças entre as médias em função da profundidade
Baixada Santista**

Prof. (m)	$TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m)	$T_{m\acute{a}x}$ (kgf.m)	d_j (kgf.m)	$\frac{d_i}{TE_{m\acute{a}x}}$ (%)	$TE_{res\ m\acute{a}x}$ (kgf.m)	$TE_{res\ m\acute{i}n}$ (kgf.m)	T_{res} (kgf.m)	d_j m\acute{a}x (kgf.m)	d_j m\acute{i}n (kgf.m)	$\frac{d_i}{TE_{res\ m\acute{a}x}}$ (%)	$\frac{d_i}{TE_{res\ m\acute{i}n}}$ (%)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1,97	1,45	0,52	26,4	0,79	0,58	0,73	0,06	-0,15	7,6	-25,9
3	2,13	1,93	0,2	9,4	0,73	0,4	0,96	-0,23	-0,56	-31,5	-140,0
4	2,36	2,63	-0,27	-11,4	1,3	0,77	1,13	0,17	-0,36	13,1	-46,8
5	2,8	2,77	0,03	1,1	1,49	0,92	1,38	0,11	-0,46	7,4	-50,0
6	2,85	2,57	0,28	9,8	1,41	0,71	0,96	0,45	-0,25	31,9	-35,2
7	3,24	3,27	-0,03	-0,9	1,4	0,61	1,45	-0,05	-0,84	-3,6	-137,7
8	3,06	3,41	-0,35	-11,4	1,02	0,73	1,36	-0,34	-0,63	-33,3	-86,3
9	3,63	5	-1,37	-37,7	1,85	1,4	1,5	0,35	-0,10	18,9	-7,1
10	3,47	4,13	-0,66	-19,0	1,9	1,41	1,5	0,40	-0,09	21,1	-6,4
11	2,95	3,27	-0,32	-10,8	1,55	1,16	1,64	-0,09	-0,48	-5,8	-41,4
12	4,68	5,5	-0,82	-17,5	2,35	1,94	2,5	-0,15	-0,56	-6,4	-28,9
13	4,54	5	-0,46	-10,1	1,82	1,09	2,5	-0,68	-1,41	-37,4	-129,4
14	3,66	3,68	-0,02	-0,5	2,36	1,9	1,64	0,72	0,26	30,5	13,7
15	4,72	5,4	-0,68	-14,4	2,35	1,83	2,25	0,10	-0,42	4,3	-23,0
16	4,76	5,5	-0,74	-15,5	2,49	1,82	2	0,49	-0,18	19,7	-9,9
17	5,93	5,74	0,19	3,2	2,71	2,27	3,83	-1,12	-1,56	-41,3	-68,7
18	4,05	4,25	-0,2	-4,9	2,69	2,2	2,12	0,57	0,08	21,2	3,6
19	4,48	4,4	0,08	1,8	2,38	1,83	1,96	0,42	-0,13	17,6	-7,1
20	4,66	4,85	-0,19	-4,1	2,72	2,09	3,09	-0,37	-1,00	-13,6	-47,8

Dos 18 pares de dados, quatro não tiveram suas curvas estabilizadas. Assim, para as análises de Dados Pareados com os torques residuais, foram considerados, primeiramente, os resultados de todas as curvas, e depois, apenas aqueles torques residuais cujas curvas se estabilizaram (14 pares de medidas). As análises estão apresentadas no Quadro 87. Neste local, as medidas com o torque analógico estão mais próximas dos valores de *TEres máximo*, e não do *Tres mínimo*, como ocorreu nos outros locais. Isto se deve ao fato de que, como os torques residuais são muito pequenos (menores do que um nos primeiros metros), a precisão do equipamento analógico coincidiu com o *TEres máximo*.

QUADRO 87 - Resultado das análises entre os torques residuais - Unesp - Baixada Santista

Análises	<i>TE res máximo e Tres</i>		<i>TE res mínimo e Tres</i>	
n	18	14	18	14
$\bar{d}$	0,0417	0,0150	0,4228	0,5093
s_d	0,4740	0,5199	0,4795	0,5396
t_{obs}	0,3732	0,1079	4,2718	3,5316
$t_{18;2,5\%} = 2,1100 \quad t_{14;2,5\%} = 2,160$				
Conclusão	Não Rejeitada	Não Rejeitada	Rejeitada	Rejeitada

6.2.8 – Análise geral da comparação entre os torques obtidos através de equipamento analógico e elétrico

Através das análises realizadas nesse item, puderam ser obtidas importantes conclusões:

- Ao contrário do que era esperado, as leituras do torque máximo, realizadas com os torquímetros que vêm sendo utilizados na prática, mostraram-se satisfatórias. Mas não se descarta, aqui, a recomendação de se utilizar o torquímetro com ponteiro de arraste, pois é importante ressaltar que para a realização desses ensaios, o sondador foi bem treinado e que o mesmo apenas lia o equipamento, enquanto que os outros operadores aplicavam o momento de torção.
- A leitura do torque residual, através do torquímetro analógico, é influenciada pela capacidade mínima do equipamento, geralmente não observada na prática. Portanto, recomenda-se a utilização de, no mínimo, dois torquímetros com capacidades diferentes, numa mesma obra.
- O torque residual obtido através do torquímetro analógico corresponde à leitura da parte inferior da oscilação da curva, que aqui está denominada de *TEres mínimo*. Provavelmente porque esta oscilação se deva a algum atrito entre a haste e a parede do furo, no momento da rotação, ocasionando um pequeno solavanco não perceptível na leitura analógica.

6.3 – COMPARAÇÃO ENTRE OS TORQUES MÁXIMO E RESIDUAL

Nesta análise os dados estão separados por tipo de solo em cada Campo Experimental. Os valores comparados são: $T_{m\acute{a}x}$ com T_{res} , obtidos através do torquímetro analógico e, $TE_{m\acute{a}x}$ com TE_{res} , obtidos através do torquímetro elétrico.

No item anterior constatou-se que $TE_{res\ m\acute{a}x}$ corresponde ao torque residual obtido através do torquímetro analógico. Portanto, o $TE_{res\ m\acute{a}x}$ passa a ser denominado TE_{res} .

6.3.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp – Campinas (SP)

Nos Quadros 88, 89 e 90 estão apresentadas as relações entre os torques máximos e residuais para os diferentes tipo de solo.

Observando-se o Quadro 89, nota-se que as relações $TE_{m\acute{a}x}/TE_{res}$ dos solos que contêm mica são menores que as relações dos que não possuem esse mineral. O número de medidas para esse tipo de material é nove e não justifica a construção de histograma, mas a relação $TE_{m\acute{a}x}/TE_{res}$ apresenta uma média de 1,362 e desvio-padrão de 0,104 e para $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ a média é 1,233 e desvio-padrão 0,094. Este solo é alteração de rocha e os valores do torque estão entre 20kgf.m e 30kgf.m, justificando, talvez, uma influência na relação entre os torques máximo e o residual.

QUADRO 88 - Comparação entre os torques máximo e residual para solos argilosos - Unicamp

<i>TE_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>TE_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i><u>TE_{máx}</u></i> <i><u>TE_{res}</u></i>	<i><u>T_{máx}</u></i> <i><u>T_{res}</u></i>
argila - arenosa - porosa					
1,57	1,00	0,48	0,00	3,305	-
1,60	1,00	0,67	0,00	2,295	-
2,21	1,50	0,70	0,00	3,144	-
2,27	1,80	0,64	0,45	3,559	4,000
1,82	1,73	0,59	0,00	3,075	-
2,02	2,50	0,71	0,83	2,861	3,012
1,79	1,73	0,61	0,43	2,915	4,023
2,97	4,00	1,07	1,00	2,768	4,000
2,27	3,60	1,41	0,90	1,607	4,000
1,46	1,64	0,05	0,41	30,862	4,000
2,22	2,00	0,60	0,50	3,719	4,000
2,23	2,76	0,64	0,92	3,462	3,000
3,86	4,00	1,50	2,00	2,573	2,000
2,17	2,00	0,61	1,00	3,557	2,000
3,18	3,00	1,06	1,50	3,000	2,000
1,36	1,00	0,45	0,50	3,022	2,000
3,08	3,42	1,58	2,45	1,944	1,396
1,85	1,38	1,00	0,92	1,844	1,500
2,23	2,21	0,84	0,88	2,655	2,511
2,83	2,34	1,05	0,94	2,696	2,489
3,06	2,87	1,13	1,44	2,712	1,993
2,18	2,87	0,99	1,44	2,214	1,993
2,03	1,67	0,90	0,83	2,250	2,012
1,97	1,47	1,01	0,49	1,951	3,000
2,05	1,50	1,01	1,00	2,030	1,500
3,79	4,00	1,27	2,00	2,989	2,000
3,47	3,91	1,29	1,96	2,689	1,995
argila - arenosa - pouco siltosa					
3,45	2,81	1,33	1,00	2,595	2,810
5,01	3,75	2,09	2,00	2,397	1,875
4,77	3,60	3,07	2,00	1,555	1,800
7,26	5,74	4,15	4,00	1,748	1,435
argila - muito arenosa					
6,48	5,87	2,23	3,00	2,904	1,957
argila - muito siltosa - areia fina					
3,83	3,60	1,85	3,00	2,068	1,200
4,40	3,91	2,66	3,00	1,654	1,303
4,86	3,91	2,80	3,00	1,738	1,303

**QUADRO 89 - Comparação entre os torques máximo e residual para solos
siltosos - Unicamp**

<i>TE_{máx} (kgf.m)</i>	<i>T_{máx} (kgf.m)</i>	<i>TE_{res} (kgf.m)</i>	<i>T_{res} (kgf.m)</i>	<i><u>TE_{máx}</u> <u>TE_{res}</u></i>	<i><u>T_{máx}</u> <u>T_{res}</u></i>
silte - arenoso - pouco argiloso - mica					
27,25	23,48	19,81	18,59	1,376	1,263
26,99	24,46	19,08	17,61	1,414	1,389
27,41	25,43	18,60	19,57	1,474	1,299
28,24	26,00	21,83	20,00	1,294	1,300
28,30	30,00	20,19	25,00	1,402	1,200
25,33	24,46	18,74	19,57	1,351	1,250
22,13	20,00	15,02	17,00	1,474	1,176
silte - argiloso - areia fina - pouca mica					
29,39	28,00	21,99	26,00	1,337	1,077
31,28	32,00	27,52	28,00	1,137	1,143
silte - muito argiloso					
23,29	25,00	14,63	14,00	1,592	1,786
silte - muito argiloso - areia fina					
6,03	5,63	3,55	3,75	1,699	1,501
11,24	10,00	6,97	7,00	1,613	1,429
11,24	10,76	7,00	6,85	1,606	1,571
11,37	10,53	6,98	6,70	1,629	1,572
11,49	10,00	7,74	7,00	1,485	1,429
6,48	5,74	5,04	4,78	1,286	1,201
8,52	8,00	5,93	6,00	1,437	1,333
10,24	8,80	6,53	5,87	1,568	1,499
13,00	12,00	8,50	8,00	1,529	1,500
10,20	9,78	7,42	7,34	1,376	1,332
11,03	10,00	7,98	6,50	1,382	1,538
12,83	13,00	9,16	9,00	1,401	1,444
14,51	14,36	11,95	10,53	1,214	1,364
19,66	21,52	15,17	18,59	1,296	1,158
5,64	6,00	2,09	4,00	2,699	1,500
7,33	6,85	4,54	4,89	1,616	1,401
9,89	12,00	5,09	6,00	1,943	2,000
9,02	10,00	5,07	5,50	1,779	1,818
9,08	9,00	6,62	6,50	1,371	1,385
8,85	7,83	5,75	5,87	1,540	1,334
9,61	9,78	6,64	6,85	1,446	1,428
14,25	14,67	9,45	10,27	1,508	1,428
18,89	19,00	14,16	16,00	1,334	1,188
20,87	20,00	14,81	15,00	1,409	1,333
27,06	25,00	19,44	20,00	1,392	1,250
5,78	6,00	3,40	4,00	1,700	1,500
9,05	8,00	5,79	6,50	1,563	1,231
6,69	6,50	4,90	5,50	1,365	1,182
10,27	11,74	7,47	7,83	1,375	1,499
10,87	11,00	7,68	8,50	1,415	1,294
10,37	9,78	6,97	7,83	1,488	1,249
13,16	14,00	8,45	8,00	1,557	1,750
10,91	10,53	7,79	8,62	1,401	1,222
11,81	12,00	7,47	8,00	1,582	1,500
17,06	17,00	11,92	14,00	1,432	1,214
6,61	6,70	3,62	3,83	1,826	1,749
10,71	10,00	7,14	7,00	1,499	1,429
14,78	13,70	11,03	11,74	1,340	1,167
17,58	16,63	11,48	12,71	1,531	1,308
13,05	14,00	10,32	10,00	1,264	1,400
15,08	14,67	10,45	10,76	1,444	1,363

QUADRO 90 - Comparação entre os torques máximo e residual para solos arenosos - Unicamp

<i>TE_{máx}</i> (kgf.m)	<i>T_{máx}</i> (kgf.m)	<i>TE_{res}</i> (kgf.m)	<i>T_{res}</i> (kgf.m)	<i>TE_{máx}</i> / <i>TE_{res}</i>	<i>T_{máx}</i> / <i>T_{res}</i>
Areia fina media - argilosa -pouco siltosa					
4,70	4,00	2,61	1,50	1,801	2,667
5,85	6,00	3,47	4,00	1,685	1,500
Areia fina media - siltosa - pouco argilosa - pouca mica					
33,06	30,00	23,26	19	1,421	1,579
19,97	20,00	13,87	12	1,440	1,667
20,65	20,00	12,75	11	1,620	1,818
12,31	20,00	9,42	11	1,307	1,818

De uma maneira geral, constata-se que, para a camada de argila arenosa e porosa, caracterizada também como solo colapsível, existe uma tendência de a relação ser maior que dois. A análise descritiva para 26 dados obtidos através do torquímetro eletrônico resultou numa média de 2,725 e desvio-padrão de 0,575. Para as medidas através do torquímetro analógico: 22 dados, média 2,565 e desvio-padrão 0,912. As Figuras 121 e 122 ilustram melhor essa observação.

A análise para os solos arenosos ainda não pode ser conclusiva pelo reduzido número de valores.

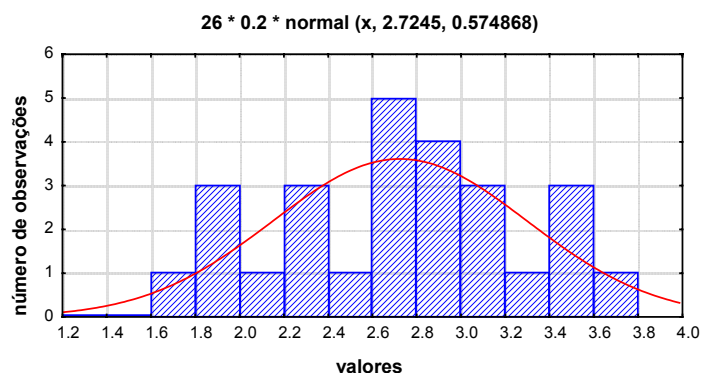


FIGURA 121 - Relação *TE_{máx}*/*TE_{res}* para argila arenosa, porosa Unicamp

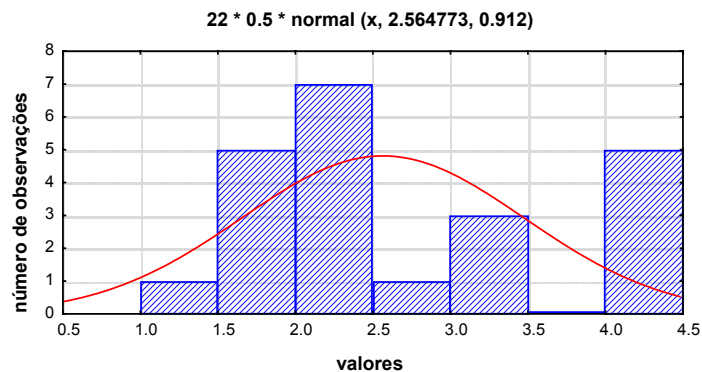


FIGURA 122 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para argila arenosa, porosa – Unicamp

Quando os dados são expandidos para todos os solos argilosos encontrados no Campo Experimental da Unicamp, observa-se que a variabilidade aumenta, mas a relação ainda se mantém maior do que dois, Figuras 123 e 124.

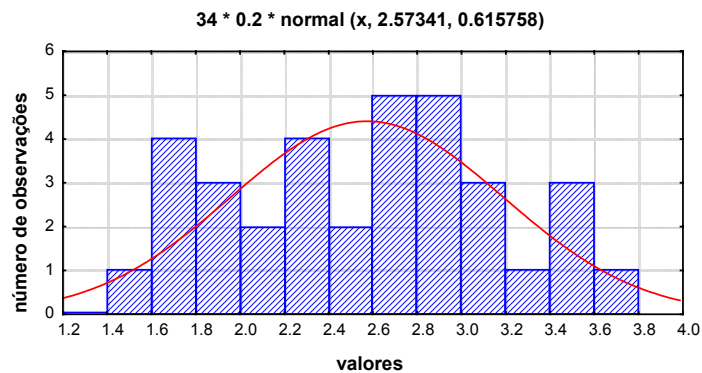


FIGURA 123 - Relação $T_{Emáx}/T_{ERes}$ para solos argilosos - Unicamp

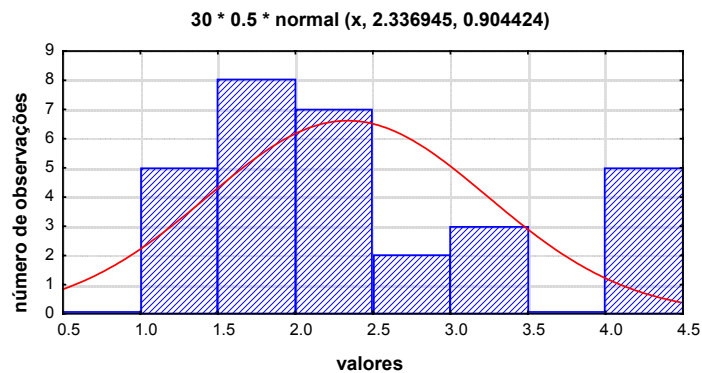


FIGURA 124 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para solos argilosos – Unicamp

As Figuras 125 e 126 mostram os histogramas para as relações entre os torques máximo e residual para os solos siltosos que não contêm mica. A relação $TE_{máx}/TE_{res}$ apresenta uma média de 1,522 e desvio-padrão de 0,241 e para $Tmáx/Tres$ a média é de 1,423 e desvio-padrão 0,190.

Através de consultas no *Microsoft Access*, foram construídos gráficos correlacionando a relação $TE_{máx}/TE_{res}$ com o teor-de-umidade, com a velocidade-de-rotação e com a profundidade, quando não foram observadas tendências a alguma influência destes fatores sobre a relação.

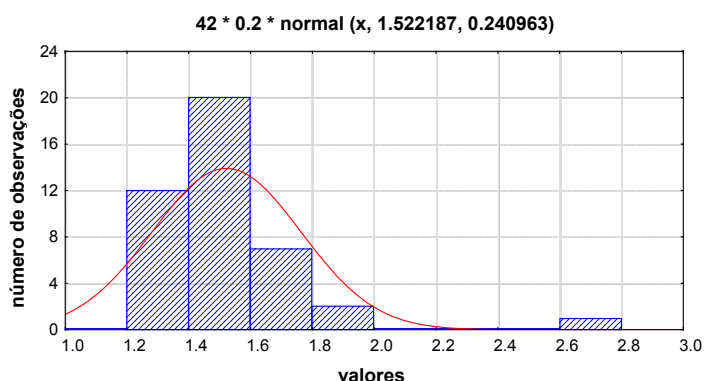


FIGURA 125 - Relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para solos siltosos – Unicamp

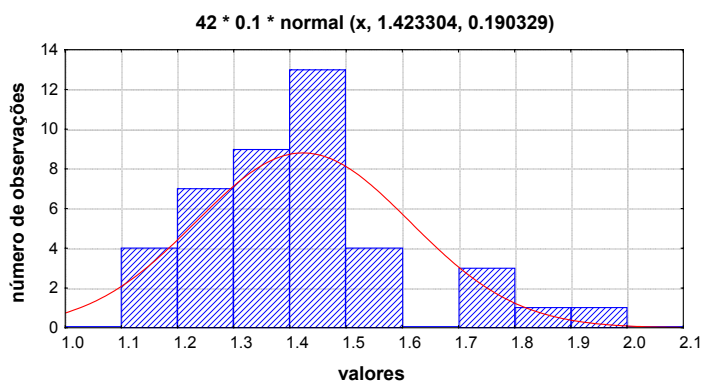


FIGURA 126 - Relação $Tmáx/Tres$ para solos siltosos – Unicamp

6.3.2 – Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)

No Quadro 91 está apresentada a comparação entre os valores máximos e residuais.

Segundo Teixeira (1997), na camada de argila arenosa foi caracterizada como solo colapsível e de comportamento laterítico e nas camadas siltosas como não colapsível e de comportamento não-laterítico.

O número de dados para as amostras colapsíveis é muito pequeno, cabendo comentar apenas que os três pares de resultados variaram muito entre si, portanto, não sendo possível uma análise.

Através das sondagens realizadas para essa pesquisa, constatou-se que a camada de silte muito argiloso corresponde a um solo residual maduro e a de silte argiloso corresponde a um solo residual jovem. Teoricamente, isto pode significar que o silte argiloso guarda melhor a estrutura da rocha do que o silte muito argiloso. Observando as relações $TE_{máx}/TE_{res}$ para os dois tipos de solo, percebe-se que a diferença entre ambos não é significativa.

Por outro lado, comparando-se os dados do aterro com os das camadas siltosas, observa-se que as relações $TE_{máx}/TE_{res}$ são bem maiores, indicando que aqueles podem até apresentar uma resistência máxima boa, mas o da camada de aterro perde a estrutura se muito amolgado.

QUADRO 91 - Comparação entre os torques máximo e residual - UFLA

<i>TE_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>TE_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i><u>TE_{máx}</u></i> <i><u>TE_{res}</u></i>	<i><u>T_{máx}</u></i> <i><u>T_{res}</u></i>
Silte arenoso					
6,89	5,00	1,62	1,00	4,253	5,000
3,42	1,50	0,99	1,00	3,455	1,500
9,25	9,00				
8,04	8,00	2,71	3,00	2,967	2,667
6,66	6,00	3,06	3,50	2,176	1,714
7,87	8,00	2,07	2,00	3,802	4,000
5,23	4,00	0,25	2,50	20,920	1,600
6,22	5,00	3,25	3,50	1,914	1,429
Silte argiloso					
5,21	5,00				
11,07	12,00				
8,77	9,00	4,30	5,00	2,040	1,800
11,84	10,00				
14,40	15,00	7,76	8,50	1,856	1,765
13,97	15,00	8,47	10,00	1,649	1,500
13,62	14,00				
10,91	10,00				
15,75	16,00	9,96	11,00	1,581	1,455
6,77	7,00				
12,31	12,00	7,26	7,50	1,696	1,600
12,45	13,00				
18,31	19,00				
8,44	7,00	4,46	4,50	1,892	1,556
19,02	19,00	10,73	11,00	1,773	1,727
15,89	16,00	8,73	9,50	1,820	1,684
10,42	12,00	6,28	7,00	1,659	1,714
11,24	11,00	6,20	6,00	1,813	1,833
17,27	17,00				
11,61	11,00				
12,82	14,00				
Silte muito argiloso					
9,89	7,00	5,15	5,00	1,920	1,400
9,18	7,00	4,90	5,00	1,873	1,400
6,89	6,50	3,85	4,00	1,790	1,625

6.3.3 – Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos USP (SP)

Segundo Giacheti *et al* (1993), o perfil típico do Campo Experimental da EESC-USP é composto de duas camadas principais. A primeira, até 6 m de profundidade, trata de um sedimento cenozóico e é caracterizada por uma areia argilosa, marrom, porosa e colapsível. Abaixo, encontra-se uma camada de solo residual do Grupo Bauru, descrita como areia argilosa vermelha.

Os resultados das sondagens realizadas para esta pesquisa, Quadros 92, 93 e 94. A linha-de-seixos bem caracterizada entre 6,50 e 7,00 metros corrobora a classificação geológica daqueles autores. Giacheti *et al.* (1993) concluíram que, embora as duas camadas apresentem a mesma Classificação Unificada, SC, elas possuem comportamentos distintos. Portanto, também foram consideradas as profundidades das amostras, ou melhor, a origem geológica das camadas.

QUADRO 92 - Comparação entre os torques máximo e residual - EESC-USP - argilosos - solo residual

<i>TE_{máx}</i> (kgf.m)	<i>T_{máx}</i> (kgf.m)	<i>TE_{res}</i> (kgf.m)	<i>T_{res}</i> (kgf.m)	<i>Prof.</i> (m)	<i>TE_{máx}</i> <i>TE_{res}</i>	<i>T_{máx}</i> <i>T_{res}</i>
Argila arenosa pouco siltosa						
20,12	18,00	14,59	14,50	14	1,379	1,241
Argila muito arenosa pouco siltosa						
22,32	23,00	15,25	16,00	16	1,464	1,438
Argila muito siltosa areia fina						
11,66	9,78	8,33	6,36	23	1,400	1,538

**QUADRO 93 - Comparação entre os torques máximo e residual - EESC-USP -
arenosos - solo residual**

<i>TE_{máx}</i> (kgf.m)	<i>T_{máx}</i> (kgf.m)	<i>TE_{res}</i> (kgf.m)	<i>T_{res}</i> (kgf.m)	<i>Prof.</i> (m)	<i>TE_{máx}</i> <i>TE_{res}</i>	<i>T_{máx}</i> <i>T_{res}</i>
areia fina média muito argilosa pouco siltosa						
3,59	3,82	2,86	2,97	7	1,255	1,286
4,01	4,09	2,85	3,27	8	1,407	1,251
4,28	3,75	3,56	3,75	7	1,202	1,000
6,27	5,63	4,48	4,22	8	1,400	1,334
17,13	17,00	11,50	12,00	13	1,490	1,417
8,16	7,83	5,53	5,38	13	1,476	1,455
20,30	21,00	12,81	14,00	14	1,585	1,500
23,8	18,00	15,19	14,5	15	1,567	1,241
areia fina média argilosa pouco siltosa						
7,19	8,00	4,22	4,50	9	1,704	1,778
6,35	5,87	3,88	3,42	10	1,637	1,716
9,47	10,53	6,17	6,70	11	1,535	1,572
12,18	11,00	7,95	8,00	13	1,532	1,375
3,44	1,35	2,79	0,90	7	1,233	1,500
5,69	5,40	4,34	4,50	8	1,311	1,200
9,54	8,00	6,25	5,50	9	1,526	1,455
11,57	11,00	6,79	6,50	10	1,704	1,692
14,03	13,70	8,28	8,80	11	1,694	1,557
11,36	10,76	7,97	7,34	12	1,425	1,466
4,63	4,22	3,73	3,75	7	1,241	1,125
6,18	5,87	4,42	4,40	8	1,398	1,334
6,25	6,00	4,26	5,00	9	1,467	1,200
9,41	9,78	6,24	6,85	10	1,508	1,428
3,57	3,53	2,64	2,65	7	1,352	1,332
7,55	7,18	4,92	4,79	8	1,535	1,499
7,25	7,03	4,71	4,69	9	1,539	1,499
12,08	9,00	7,68	6,50	10	1,573	1,385
13,43	12,00	9,33	9,00	11	1,439	1,333
14,89	13,70	10,60	10,27	12	1,405	1,334
7,85	7,66	6,57	6,70	13	1,195	1,143
8,29	8,44	4,84	4,69	9	1,713	1,800
7,99	7,83	4,75	4,40	10	1,682	1,780
8,83	8,32	5,69	4,89	11	1,552	1,701
14,31	13,70	10,27	9,78	12	1,393	1,401
21,10	20,11	14,35	14,36	14	1,470	1,400
34,85	30,00	23,44	21,00	16	1,487	1,429
16,13	14,00	10,37	10,00	17	1,555	1,400
18,45	18,00	13,36	14,50	15	1,381	1,241
24,21	21,00	17,47	17,50	14	1,386	1,200
21,61	19,00	14,62	14,50	15	1,478	1,310
areia fina pouco argilosa						
7,19	8,00	4,22	4,50	9	1,704	1,778
6,35	5,87	3,88	3,42	10	1,637	1,716
9,47	10,53	6,17	6,70	11	1,535	1,572
12,18	11,00	7,95	8,00	13	1,532	1,375
3,44	1,35	2,79	0,90	7	1,233	1,500
5,69	5,40	4,34	4,50	8	1,311	1,200

QUADRO 94 - Comparação entre os torques máximo e residual - EESC-USP - sedimento cenozóico

<i>TE_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>TE_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>Prof.</i> <i>(m)</i>	<i><u>TE_{máx}</u></i> <i><u>TE_{res}</u></i>	<i><u>T_{máx}</u></i> <i><u>T_{res}</u></i>
areia fina média argilosa pouco siltosa						
3,30	2,81	1,30	1,41	1	2,538	1,993
3,63	3,55	1,22	1,97	2	2,975	1,802
5,63	5,53	3,58	3,95	3	1,573	1,400
8,21	7,66	5,10	4,79	4	1,610	1,599
6,42	6,30	3,04	3,60	5	2,112	1,750
3,90	3,29	1,43	1,65	6	2,727	1,994
2,63	2,87	0,61	0,96	1	4,311	2,990
3,78	3,62	2,12	2,81	2	1,783	1,288
3,79	3,68	2,85	3,27	3	1,330	1,125
4,49	4,00	2,28	3,50	4	1,969	1,143
3,35	2,93	2,42	2,45	5	1,384	1,196
4,08	3,89	1,99	2,16	6	2,050	1,801
1,62	1,35	0,67	0,90	1	2,418	1,500
3,10	2,45	1,36	2,05	2	2,279	1,195
3,94	4,02	2,23	2,81	3	1,767	1,431
4,24	3,46	2,26	3,03	4	1,876	1,142
3,44	3,33	1,81	2,50	5	1,901	1,332
3,02	3,21	2,02	2,76	6	1,495	1,163
3,12	3,00	0,62	1,50	1	5,032	2,000
5,82	3,83	1,75	1,91	2	3,326	2,005
3,04	2,21	2,07	3,09	3	1,469	0,715
4,26	4,17	2,7	3,33	4	1,578	1,252
3,98	3,89	2,97	3,46	5	1,340	1,124
5,14	4,21	2,17	2,08	6	2,369	2,024
2,26	2,34	0,27	0,94	1	8,370	2,489
1,55	4,33	0,46	2,16	2	3,370	2,005
2,85	2,30	0,89	0,92	3	3,202	2,500
4,33	4,31	1,93	1,91	4	2,244	2,257
4,44	4,33	1,98	2,16	5	2,242	2,005
4,11	4,40	2,28	2,45	6	1,803	1,796

As Figuras 127 e 128 comprovam a grande variabilidade da relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para solos colapsíveis, enquanto que, para solos residuais, Figuras 129 e 130, a variabilidade é bem menor. Essa grande variação da relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para solos colapsíveis pode ser utilizada positivamente como um indicativo para caracterizar esse tipo de solo, uma vez que se repetiu nos outros Campos Experimentais.

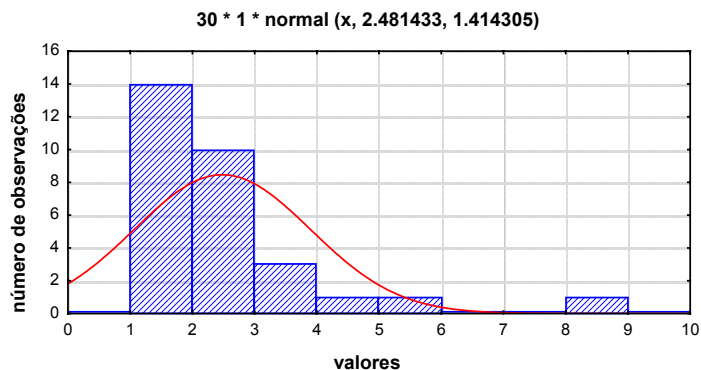


FIGURA 127 - Relação $TEmax/TERes$ para sedimento cenozóico EESC – USP

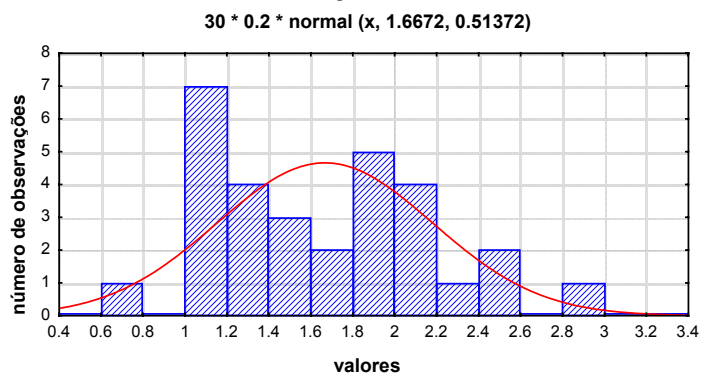


FIGURA 128 - Relação $Tmáx//Tres$ para sedimento cenozóico - EESC – USP

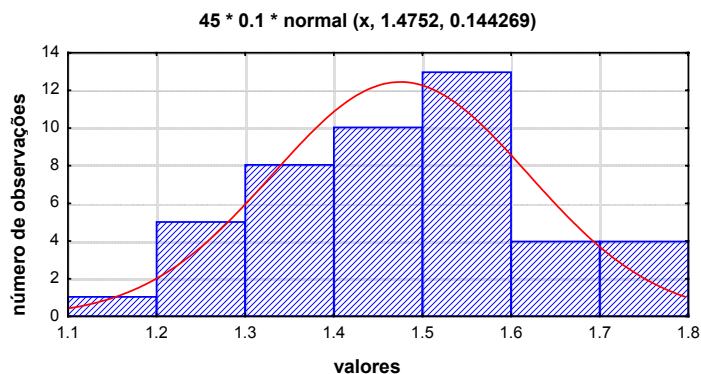


FIGURA 129 - Relação $TEmax/TERes$ para solo residual - EESC - USP

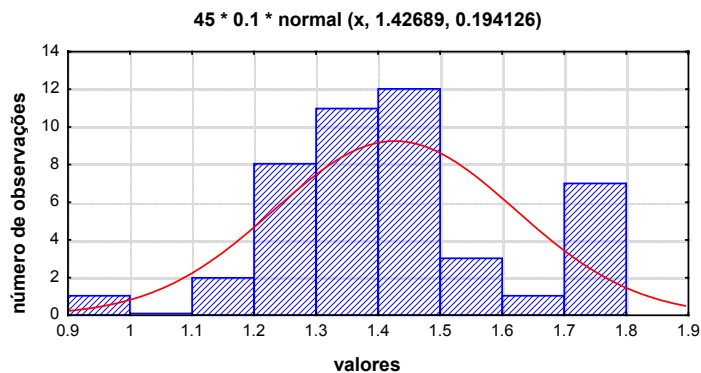


FIGURA 130 - Relação $Tmáx//Tres$ para solo residual - EESC – USP

6.3.4 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru – Unesp – (SP)

Segundo Ferreira *et al* (1998), o Campo Experimental de Bauru apresenta o seguinte perfil geológico: até a profundidade aproximada de 12 a 13 metros, uma camada de areia fina e média argilosa e muito porosa, de compactidade fofa a pouco compacta e, a partir daí, a resistência aumenta. Portanto, distinguem-se duas camadas em função da profundidade, fato que também será considerado nas análises cujos resultados estão apresentados nos Quadros 95 e 96 e Figuras 131 e 132.

QUADRO 95 - Comparação entre os torques máximo e residual - Unesp-Bauru - areia fina média, argilosa -profundidade abaixo de 13 metros

<i>TE_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>TE_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>Prof.</i> <i>(m)</i>	<i><u>TE_{máx}</u></i> <i><u>TE_{res}</u></i>	<i><u>T_{máx}</u></i> <i><u>T_{res}</u></i>
Argila muito siltosa pouco arenosa						
18,44	19,00	11,43	12,50	13	1,613	1,520
17,28	18,00	10,88	11,00	13	1,588	1,636
36,62	32,00	26,6	25,00	18	1,377	1,280
Argila siltosa pouco arenosa						
30,27	30,00	21,34	23,00	13	1,418	1,304

Foi constatado que, nos furos SP 03 e 04, não foi possível determinar o *TE_{res}* nas camadas arenosas pois as curvas apresentaram o comportamento mostrado na Figura 133. O mesmo não ocorreu com as pequenas camadas argilosas, nas quais foi possível determinar o torque residual mínimo, Figura 134.

QUADRO 96 - Comparação entre os torques máximo e residual - Unesp-Bauru
Areia fina média, argilosa - porosa - -Profundidade até 12 metros

<i>TE_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>TE_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>Prof.</i> <i>(m)</i>	<i>TE_{máx}</i> <i>TE_{res}</i>	<i>T_{máx}</i> <i>T_{res}</i>
Areia fina média argilosa - profundidade até 12 metros						
2,80	0,90	0,20	0,45	0,5	14,000	2,000
3,75	2,86	0,70	0,82	0,5	5,357	3,488
5,37	2,50	0,26	0,50	0,5	20,654	5,000
0,55	0,83	0,16	0,42	1	3,438	1,976
1,44	0,70	0,46	0,35	1	3,130	2,000
0,94	0,90	0,32	0,45	1	2,938	2,000
1,49	0,76	0,27	0,39	1	5,519	1,949
1,86	0,78	0,40	0,39	2	4,650	2,000
0,71	0,41	0,16	0,00	2	4,438	0,000
2,19	1,41	0,20	0,94	2	10,950	1,500
0,82	0,94	0,30	0,47	3	2,733	2,000
1,82	1,18	0,55	0,79	3	3,309	1,494
1,57	1,00	0,45	0,50	3	3,489	2,000
2,30	2,00	0,65	1,00	3	3,538	2,000
1,90	1,73	0,31	0,87	3	6,129	1,989
0,99	1,00	0,26	0,50	4	3,808	2,000
2,74	2,00	0,94	1,00	4	2,915	2,000
1,71	1,50	0,63	1,00	4	2,714	1,500
2,06	1,97	0,63	1,17	4	3,270	1,684
2,21	1,76	0,59	0,88	4	3,746	2,000
1,05	1,91	0,11	0,96	5	9,545	1,990
2,59	1,96	0,60	0,98	5	4,317	2,000
1,60	1,44	0,50	0,96	5	3,200	1,500
2,20	2,00	0,79	1,00	5	2,785	2,000
1,76	1,91	0,04	0,96	5	44,000	1,990
0,87	1,80	0,49	0,90	6	1,776	2,000
2,63	1,91	0,98	0,96	6	2,684	1,990
2,72	3,00	0,61	1,00	6	4,459	3,000
2,55	2,34	1,07	1,41	6	2,383	1,660
2,51	2,50	0,53	1,00	6	4,736	2,500
0,98	1,96	0,56	0,98	7	1,750	2,000
3,03	2,00	0,77	1,00	7	3,935	2,000
2,17	1,91	0,62	0,96	7	3,500	1,990
2,80	2,45	0,74	0,98	7	3,784	2,500
2,44	2,39	0,66	1,44	7	3,697	1,660
1,78	2,93	1,06	1,47	8	1,679	1,993
2,99	1,50	0,86	0,50	8	3,477	3,000
3,66	3,28	0,64	0,94	8	5,719	3,489
5,29	4,79	0,94	1,44	8	5,628	3,326
2,93	2,50	0,86	1,00	8	3,407	2,500
1,65	3,00	0,51	1,50	9	3,235	2,000
3,55	3,00	1,11	1,00	9	3,198	3,000
3,83	4,00	1,03	1,50	9	3,718	2,667
2,17	0,90	0,68	0,45	9	3,191	2,000
3,21	3,00	0,64	1,00	9	5,016	3,000
2,06	5,50	0,67	2,00	10	3,075	2,750
3,71	2,93	1,35	1,47	10	2,748	1,993
3,60	3,35	1,38	1,91	10	2,609	1,754
4,80	4,50	1,83	2,00	10	2,623	2,250
3,94	4,00	1,45	2,00	10	2,717	2,000
5,22	4,50	2,30	2,00	11	2,270	2,250
4,59	4,00	1,74	2,00	11	2,638	2,000
3,58	4,00	1,10	2,00	11	3,255	2,000
3,45	3,50	1,85	2,00	11	1,865	1,750
4,15	4,00	1,17	2,00	11	3,547	2,000
17,35	18,00	13,12	14,00	12	1,322	1,286
10,64	10,50	8,86	9,00	12	1,201	1,167
7,55	6,36	2,02	1,96	12	3,738	3,245
4,25	4,00	1,16	2,00	12	3,664	2,000
6,48	5,87	2,75	3,42	12	2,356	1,716

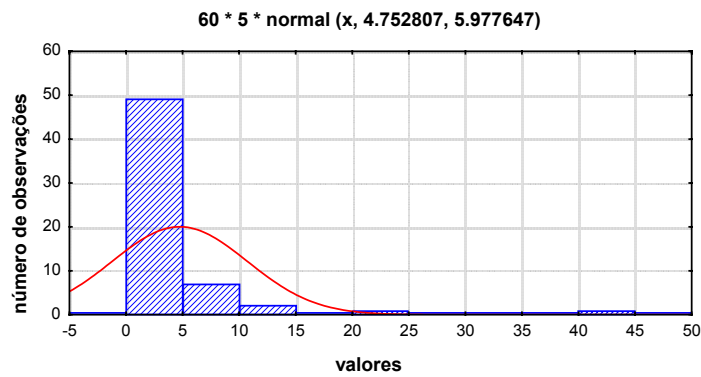


FIGURA 131 - Relação T_{Emax}/T_{ERes} para areia fina média argilosa, porosa - Unesp - Bauru

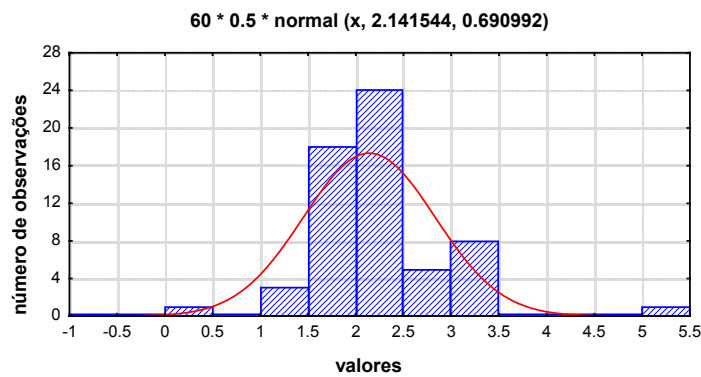


FIGURA 132 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para areia fina média argilosa, porosa Unesp - Bauru

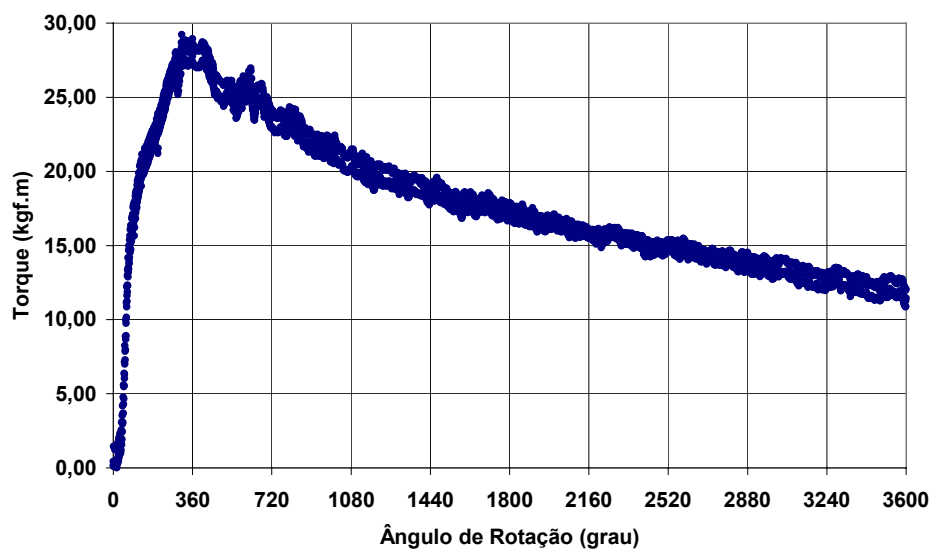
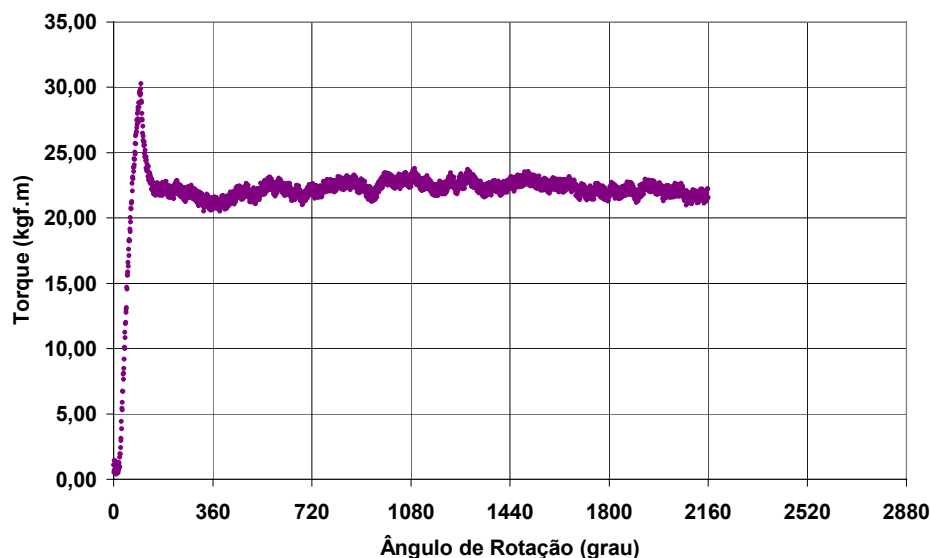


FIGURA 133 - Curva torque *versus* ângulo-de-rotação para a camada arenosa - abaixo de 13 metros - Unesp - Bauru



**FIGURA 134 - Curva torque *versus* ângulo-de-rotação para a camada argilosa
- Unesp - Bauru**

6.3.5 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp – (SP)

O Campo Experimental de Ilha Solteira é composto de uma camada de areia fina e média argilosa até 13m acima de uma camada de areia fina e média argilosa, pouco siltosa. No Quadro 97 estão apresentadas as relações entre torque máximo e residual, nas quais, nota-se uma acentuada variabilidade para $TE_{máx}/TE_{res}$ e o mesmo não ocorrendo com $T_{máx}/T_{res}$. Isto porque, na análise de dados pareados, os dois valores obtidos nas curvas foram rejeitados. Esta diferença pode ser atribuída ao fato de que os valores são muito baixos e menores que a capacidade mínima do equipamento analógico, afetando a precisão daquela medida. Isto é, como a precisão é menor, os dados do torquímetro analógico estão sujeitos a uma menor variabilidade.

QUADRO 97 - Comparação entre os torques máximo e residual – Unesp - Ilha Solteira - areia fina média, argilosa

<i>TE_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>TE_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>Prof.</i> <i>(m)</i>	<i>Estabilizou?</i>	<i>TE_{máx}</i> <i>TE_{res}</i>	<i>T_{máx}</i> <i>T_{res}</i>
Areia fina média argilosa							
1,47	0,94	0,17	0,47	1	SIM	8,647	2,000
2,97	1,80	0,65	0,90	2	SIM	4,569	2,000
1,61	0,98		0,98	2	NÃO		1,000
1,66	1,35	0,21	0,90	2	SIM	7,905	1,500
1,77	1,00		1,00	3	NÃO		1,000
2,16	2,50	0,77	1,00	3	SIM	2,805	2,500
2,41	2,00		1,00	3	NÃO		2,000
3,56	3,15	0,61	0,90	4	SIM	5,836	3,500
1,31	0,94		0,94	4	NÃO		1,000
2,31	2,50	1,09	1,50	4	SIM	2,119	1,667
4,17	4,31	1,74	2,87	5	SIM	2,397	1,502
3,84	3,28	0,85	1,88	5	SIM	4,518	1,745
2,96	4,00	0,18	2,00	5	SIM	16,444	2,000
3,03	2,76	0,65	0,92	6	SIM	4,662	3,000
2,88	3,28	1,18	1,41	6	NÃO	2,441	2,326
3,42	3,00	1,10	1,50	6	SIM	3,109	2,000
5,08	5,00	1,18	2,00	7	SIM	4,305	2,500
2,57	2,12	0,56	0,85	7	NÃO	4,589	2,494
4,61	4,89	1,29	1,96	7	NÃO	3,574	2,495
4,80	4,89	2,87	2,93	8	SIM	1,672	1,669
4,10	4,00		2,00	8	NÃO		2,000
3,64	3,91	2,17	2,45	8	SIM	1,677	1,596
7,10	8,00	1,18	3,00	9	SIM	6,017	2,667
8,17	8,62	2,86	3,93	9	SIM	2,857	2,193
5,67	5,00	2,47	3,00	9	NÃO	2,296	1,667
6,33	6,00	2,60	3,00	10	NÃO	2,435	2,000
4,81	5,00	2,59	2,50	10	NÃO	1,857	2,000
6,13	6,36	2,54	2,93	10	NÃO	2,413	2,171
8,38	9,00	2,14	4,50	11	SIM	3,916	2,000
5,29	4,00	0,95	1,50	11	NÃO	5,568	2,667
10,48	10,00	1,95	3,50	11	SIM	5,374	2,857
5,54	5,00	3,36	3,00	12	SIM	1,649	1,667
5,74	6,00	3,39	4,50	12	SIM	1,693	1,333
8,42	8,00	5,92	6,50	12	NÃO	1,422	1,231
7,35	6,50	2,98	3,50	13	NÃO	2,466	1,857
11,42	12,00	4,80	5,50	13	NÃO	2,379	2,182

No Quadro 97 também está mostrada uma coluna na qual se indica se houve estabilização da curva no TE_{res} . Em alguns casos, embora a curva não tenha se estabilizado, sua inclinação não foi tão acentuada e optou-se por se calcular um TE_{res} médio. Já em outras curvas não foi possível obter-se esse valor. Nas Figuras 135 e 136 estão exemplificados os dois casos.

Este comportamento para solos arenosos foi observado nos Campos Experimentais de São Carlos, Bauru e Ilha Solteira e será melhor detalhado no item 6.6.

Segundo Carvalho *et al* (1998), o solo do Campo Experimental apresenta índice de vazios superiores a 0,8 com graus de saturação inferiores a 30% nas camadas inferiores a 6 m, sendo um indicativo de solos colapsíveis. A variabilidade para todas as amostras, sem considerar-se a colapsibilidade, está apresentada nas Figuras 137 e 138, para os solos arenosos colapsíveis nas Figuras 139 e 140, e para os solos arenosos não-colapsíveis, nas Figuras 141 e 142.

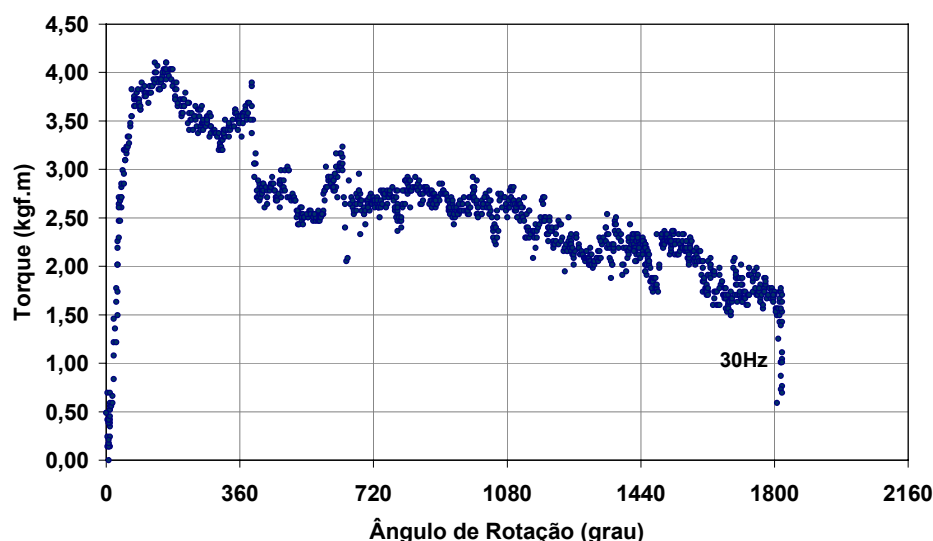


FIGURA 135 - Curva não estabilizada torque versus ângulo-de-rotação

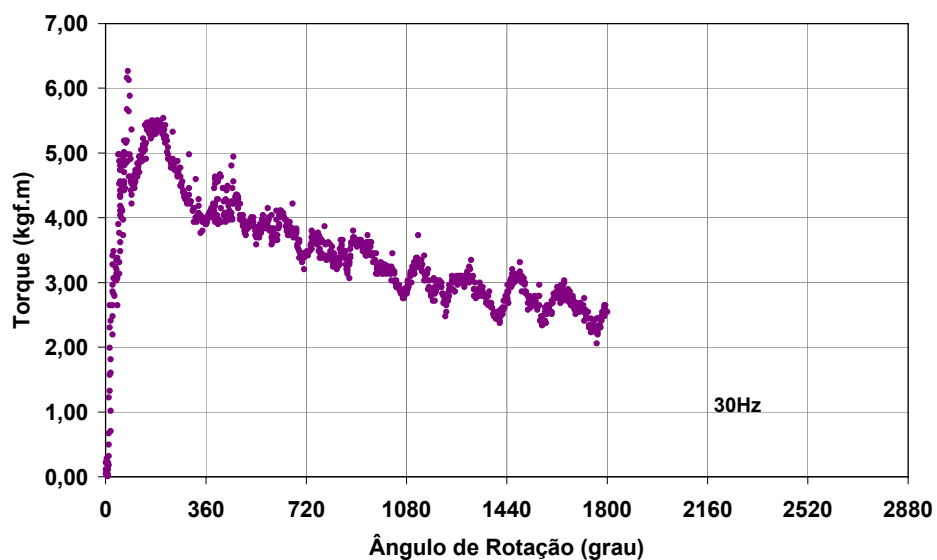


FIGURA 136 - Curva não estabilizada torque versus ângulo-de-rotação

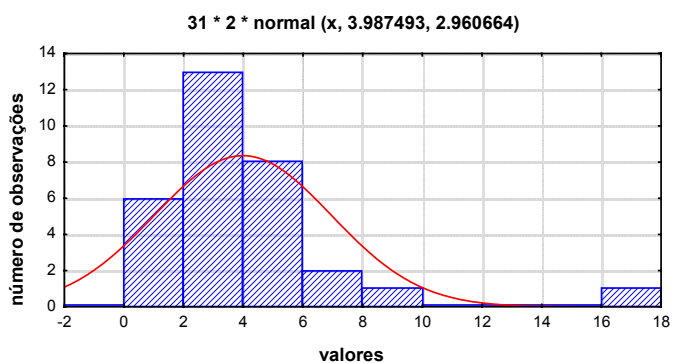


FIGURA 137 - Relação T_{Emax}/T_{ERes} para areia fina média argilosa - Unesp - Ilha Solteira

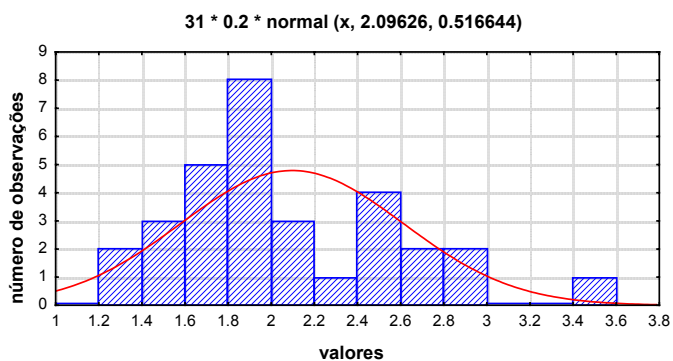


FIGURA 138 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para areia fina média argilosa - Unesp - Ilha Solteira

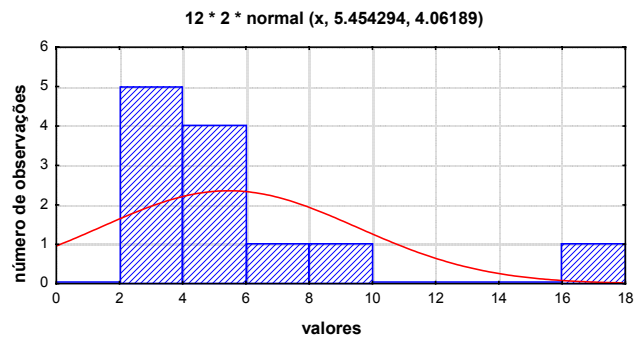


FIGURA 139 - Relação $TEmax/TE$ res para areia fina média argilosa, solo colapsível - Unesp - Ilha Solteira

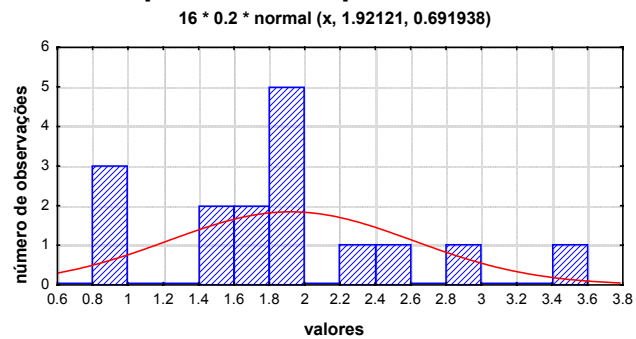


FIGURA 140 - Relação $Tmáx/Tres$ para areia fina média argilosa , solo colapsível - Unesp - Ilha Solteira

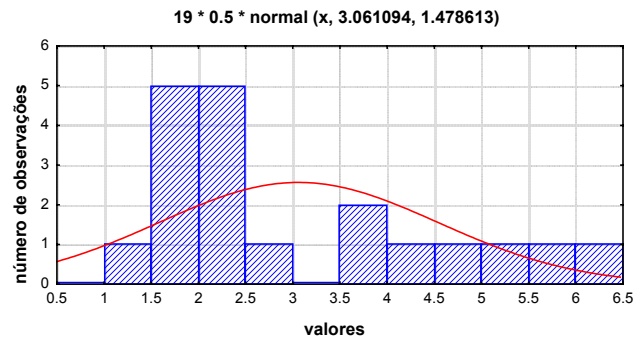


FIGURA 141 - Relação $TEmax/TE$ res para areia fina média argilosa, solo não-colapsível - Unesp - Ilha Solteira

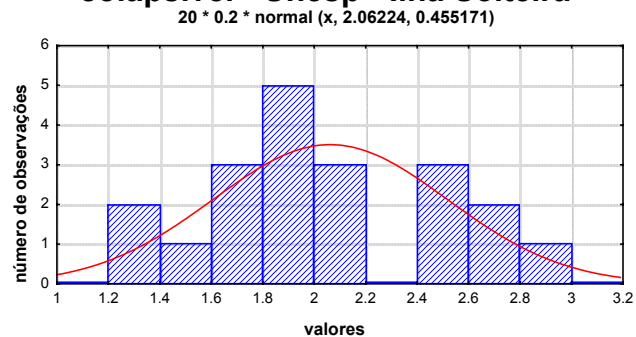


FIGURA 142 - Relação $Tmáx/Tres$ para areia fina média argilosa , solo não-colapsível - Unesp Ilha Solteira

6.3.6 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP –São Paulo

O Campo Experimental da Escola Politécnica é composto de um perfil de solo residual, siltoso, apresentando praticamente todas as curvas torque *versus* ângulo-de-rotação com definição do torque residual antes da segunda volta. Os resultados das análises estão apresentados nos Quadros 98 e 99, bem como nos histogramas das Figuras 143 e 144.

Através dessas Figuras fica comprovado, mais uma vez, que a relação $TE_{máx}/TE_{res}$ para solos residuais, apresenta menor variabilidade: $TE_{máx}/TE_{res}$ igual a 1,3702 e desvio-padrão 0,3492 e $T_{máx}/T_{res}$ igual a 1,3036 e desvio-padrão 0,2928.

QUADRO 98 - Comparação entre os torques máximo e residual – Politécnica - USP

$TE_{máx}$ (kgf.m)	$T_{máx}$ (kgf.m)	TE_{res} (kgf.m)	T_{res} (kgf.m)	Prof. (m)	$\frac{TE_{máx}}{TE_{res}}$	$\frac{T_{máx}}{T_{res}}$
areia fina média muito siltosa pouca mica						
49,5	48,0	31,4	32,0	7	1,575	1,500
61,1	60,0		42,0	8		1,429
argila arenosa pouco siltosa						
8,83	7,66	5,38	3,83	1	1,641	2,000
silte arenoso pouco argiloso						
14,01	13,7	8,49	7,83	2	1,650	1,750
18,78	17	15,82	15	3	1,187	1,133
28,15	27	22,66	24	4	1,242	1,125
47,17	48	37,97	38	4	1,242	1,263
33,95	32	27,62	28	5	1,229	1,143
34,9	37	30,15	32	7	1,158	1,156
32,69	21		30	7		0,700
35,6	32	28,96	30	8	1,229	1,067
39,31	38	30,5	30	9	1,289	1,267

**QUADRO 99 - Comparação entre os torques máximo e residual – Politécnica
- USP**

<i>TE_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>TE_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>Prof.</i> <i>(m)</i>	<i>TE_{máx}</i> <i>TE_{res}</i>	<i>T_{máx}</i> <i>T_{res}</i>
silte muito arenoso pouca mica						
11,35	12,50	3,34	4,50	1	3,398	2,778
16,53	17,00	8,80	10,00	2	1,878	1,700
35,83	35,00	24,08	22,00	1	1,488	1,591
34,59	34,00	27,45	27,00	2	1,260	1,259
37,26	38,00	29,51	31,00	3	1,263	1,226
32,96	30,00	24,74	25,00	4	1,332	1,200
33,40	30,00	26,17	26,00	5	1,276	1,154
40,30	38,00	30,16	30,00	6	1,336	1,267
29,66	30,00	20,58	21,00	1	1,441	1,429
54,44	52,00	33,57	34,00	2	1,622	1,529
49,08	48,00	36,98	38,00	3	1,327	1,263
31,19	30,00	23,86	24,00	5	1,307	1,250
50,11	52,00	43,47	46,00	6	1,153	1,130
46,39	48,00	37,81	40,00	7	1,227	1,200
53,83	56,00	49,17	52,00	8	1,095	1,077
47,52	48,00	43,44	44,00	9	1,094	1,091
silte muito arenoso , pouco argiloso						
25,40	24,00	20,11	20,00	4	1,263	1,200
42,51	42,00	30,64	32,00	5	1,387	1,313
silte muito arenoso pouco argiloso pouca mica						
47,75	42,00	35,01	36,00	4	1,364	1,167
56,96	56,00	39,29	38,00	6	1,450	1,474
11,59	11,00	6,44	7,00	1	1,800	1,571
24,03	24,00	12,97	15,00	2	1,853	1,600
36,98	38,00	31,58	32,00	3	1,171	1,188
13,09	11,49	8,02	6,70	1	1,632	1,715
18,31	17,00	10,82	10,00	2	1,692	1,700
25,60	19,57	16,83	16,63	3	1,521	1,177
32,05	28,00	26,98	24,00	4	1,188	1,167
35,07	32,00	29,22	29,00	5	1,200	1,103
25,05	25,00	20,51	20,00	6	1,221	1,250
60,13	62,00	50,54	52,00	7	1,190	1,192
64,45	68,00	54,37	56,00	8	1,185	1,214
53,83	58,00	48,70	50,00	9	1,105	1,160
52,18	48,00	45,35	46,00	10	1,151	1,043
56,68	58,00	48,56	50,00	11	1,167	1,160
22,75	25,00	16,45	16,00	8	1,383	1,563
13,34	12,00	10,39	10,00	9	1,284	1,200
13,34	14,00	10,90	11,00	10	1,224	1,273
33,52	30,00	26,11	24,00	6	1,284	1,250
42,60	42,00	28,13	28,00	7	1,514	1,500
61,69	62,00	45,71	48,00	8	1,350	1,292
62,90	64,62	50,34	50,77	9	1,250	1,273
67,06	66,00	61,02	66,00	10	1,099	1,000
42,60	44,00	34,70	34,00	10	1,228	1,294

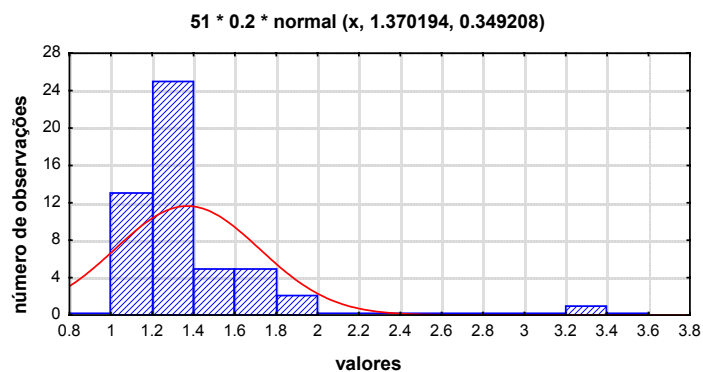


FIGURA 143 - Relação T_{Emax}/T_{ERes} para solo siltoso, residual - Politécnica - USP

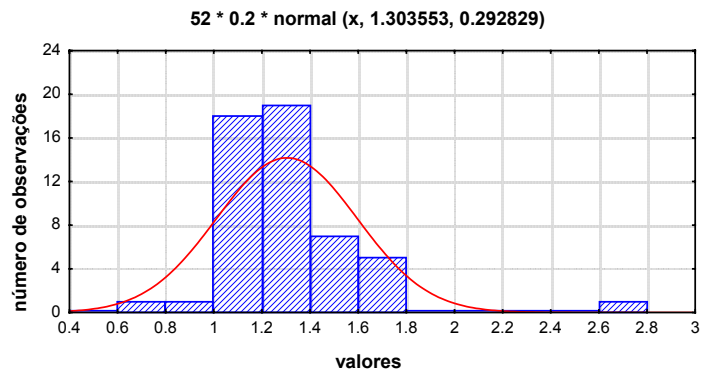


FIGURA 144 - Relação $T_{máx}/T_{res}$ para solo siltoso, residual - Politécnica - USP

6.3.7 – Baixada Santista – Vicente de Carvalho – Guarujá (SP)

No Quadro 100 estão apresentados os resultados para os ensaios realizados na Baixada Santista e, no Quadro 101, os resultados da análise estatística descritiva.

QUADRO 100 - Comparação entre os torques máximo e residual - Baixada Santista

<i>TE_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{máx}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>TE_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>T_{res}</i> <i>(kgf.m)</i>	<i>Prof.</i> <i>(m)</i>	<i><u>TE_{máx}</u></i> <i><u>TE_{res}</u></i>	<i><u>T_{máx}</u></i> <i><u>T_{res}</u></i>
argila orgânica						
2,13	1,93	0,40	0,96	2	5,325	2,010
2,36	2,63	0,77	1,13	4	3,065	2,327
2,80	2,77	0,92	1,38	5	3,043	2,007
2,85	2,57	0,71	0,96	6	4,014	2,677
3,24	3,27	0,61	1,45	7	5,311	2,255
3,06	3,41	0,73	1,36	8	4,192	2,507
3,63	5,00	1,40	1,50	9	2,593	3,333
3,47	4,13	1,41	1,50	10	2,461	2,753
2,95	3,27	1,16	1,64	11	2,543	1,994
4,68	5,50	1,94	2,50	12	2,412	2,200
4,54	5,00	1,09	2,50	13	4,165	2,000
argila orgânica siltosa pouca areia fina						
3,66	3,68	1,90	1,64	14	1,926	2,244
4,72	5,40	1,83	2,25	15	2,579	2,400
4,76	5,50	1,82	2,00	16	2,615	2,750
5,93	5,74	2,27	3,83	17	2,612	1,499
4,05	4,25	2,20	2,12	18	1,841	2,005
4,48	4,40	1,83	1,96	19	2,448	2,245
4,66	4,85	2,09	3,09	20	2,230	1,570

QUADRO 101 - Análise estatística descritiva dos resultados da Baixada Santista

Relação	número de amostras	Média (kgf.m)	sd (kgf.m)	c.v. (%)
Argila orgânica				
<i><u>TE_{máx}</u></i> <i><u>TE_{res}</u></i>	11	3,557	1,1027	31,01%
<i><u>T_{máx}(SPT)</u></i> <i><u>T_{res}</u></i>	11	2,3696	0,4209	17,76%
Argila orgânica siltosa com pouca areia fina				
<i><u>TE_{máx}</u></i> <i><u>TE_{res}</u></i>	7	2,3217	0,3289	14,17%
<i><u>T_{máx}(SPT)</u></i> <i><u>T_{res}</u></i>	7	2,1017	0,4484	21,34%

Os resultados medidos com o torquímetro elétrico, para a argila orgânica, são os que apresentaram um maior coeficiente-de-variação. Esses valores são os que correspondem a torques da ordem entre 2 a 5 kgf.m, os quais são menores

que a capacidade mínima do torquímetro analógico, justificando, assim, a menor variabilidade para esse equipamento.

Inicialmente essa afirmação pode parecer estranha, mas o fato é que as leituras com o torquímetro analógico são feitas com números inteiros, os quais mascaram, dessa forma, a variabilidade.

6.3.8 – Análise geral da relação entre os torques máximos e residuais

No Quadro 102 estão apresentadas as relações entre os torques máximo e residuais para os diferentes tipos de solo. Nesse Quadro os solos estão separados em função da granulometria, do local e da geologia, respectivamente.

QUADRO 102 - Relações entre os torques máximos e residuais para os diferentes tipos de solo

Tipo de Solo	Nº Dados	$\frac{TE_{m\acute{a}x}}{TE_{res}}$	sd	cv (%)
Solos Arenosos				
EESC - USP (colapsível)	30	2,48	1,41	56,7
EESC - USP (residual de Arenito)	45	1,48	0,14	9,5
Unesp – Bauru (camada até 12 metros)	60	4,75	5,98	125,9
Unesp – Ilha Solteira (colapsível)	12	5,45	4,06	74,4
Unesp - Ilha Solteira (solo transportado, colapsível)	19	3,06	1,48	48,4
Solos Siltosos				
Unicamp (residual de Diabásio)	42	1,52	0,24	15,8
UFLA - Lavras (residual de Gnaiss)	13	1,80	0,13	7,2
Politécnica – USP (residual de Migmatito)	51	1,37	0,35	25,5
Solos Argilosos				
Unicamp (colapsível)	26	2,73	0,57	21,1
Solos Argilosos - Sedimentos Marinhos				
Baixada Santista - Argila orgânica	11	3,56	1,10	31,0
Baixada Santista -Argila orgânica, siltosa, pouca areia fina	7	2,32	0,33	14,2

Das análises realizadas neste item podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- As relações entre os torques máximo e residual são sempre maiores que o valor unitário;
- As relações maiores que três para os solos arenosos e colapsíveis são um indicativo que esse solo é mais suscetível a abertura do furo durante a rotação do amostrador;
- A variabilidade da relação $T_{\text{máx}}/T_{\text{res}}$ é bem menor quando os solos são residuais;
- Essa relação é um indicativo do efeito da aplicação do momento de torção no solo, e a utilidade desse parâmetro será mostrada no Capítulo 10.

6.4 – ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CRAVAÇÃO DO AMOSTRADOR NO VALOR DO TORQUE

A influência do tempo de cravação do amostrador no valor do torque foi analisada nos Campos Experimentais da Unicamp, da Unesp de Bauru e Ilha Solteira, na Poli (USP) e na Baixada Santista. Esse estudo teve por objetivo avaliar a recuperação do torque em função do tempo em diferentes tipos de solo.

6.4.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp – Campinas (SP)

O amostrador foi deixado cravado nos furos SP05 e SP06 a 5 e 15 metros, respectivamente, e leituras periódicas foram realizadas com o objetivo de se estudar a recuperação da estrutura. O resumo desses resultados está apresentado no Quadro 103 e as Figuras 145 e 146 ilustram a variação de $TE_{máx}$ e TE_{res} em função do tempo de cravação.

**QUADRO 103 - Leituras Periódicas dos Torques Realizadas
nos Furos SP05 e 06**

Furo	$T_{m\acute{a}x}$ (kgf.m)	T_{res} (kgf.m)	Tempo de Cravação (hora)	Lei- turas	$TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m)	TE_{res} (kgf.m)	$\frac{TE_{m\acute{a}x}}{TE_{res\ m\acute{in}imo}}$	Tempe- ratura (°C)	Velocida- de de rotação (volta/mi)
SP05	2,87	1,44	Argila arenosa, porosa, de muito mole a mole, marrom-avermelhada, Solo Colapsível						
			0		3,09	1,11	2,784	30	7,29
			18:30	A	2,29	1,29	1,775	20	4,50
			50:30	B	2,26	1,02	2,216	27	4,85
			70:00	C	2,02	1,03	1,961	29	4,87
			169:00	D	2,13	1,05	2,029	29	6,76
			212:30	E	2,22	0,97	2,289	25	6,39
			236:30	F	2,13	1,02	2,088	25	5,09
			315:00	G	2,19	0,99	2,212	25	4,83
SP06	20,00	11,00	Areia média e fina, siltosa, pouco argilosa, medianamente compacta, vermelho-amarelada, Solo residual (Arenito)						
			0		20,49	-		31	4,78
			24:00	A	16,58	10,80	1,535	27	4,20
			44:00	B	14,66	10,49	1,398	29	5,92
			142:30	D	17,38	10,54	1,649	29	7,56
			186:00	E	14,17	10,25	1,382	25	5,15
			211:30	F	13,05	9,46	1,379	25	2,19
			212:00	G	11,41	9,21	1,239	28	2,77
			213:30	H	10,53	8,60	1,224	30	-
			288:30	J	12,32	9,15	1,346	25	3,55
			312:00	K	13,43	8,87	1,514	25	5,37
			336:00	L	13,50	9,12	1,480	-	10,69
			378:00	M	14,06	9,01	1,560	25	18,76

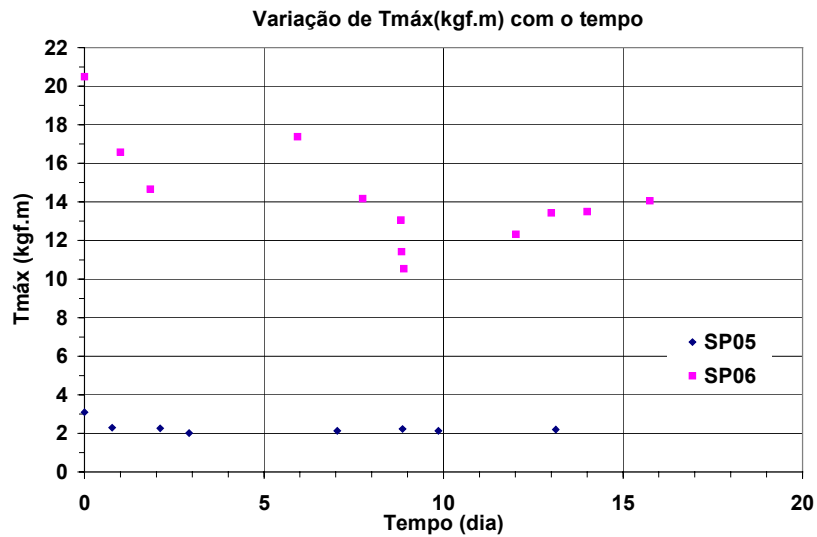


FIGURA 145 - Variação de $TE_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) com o Tempo (dia)

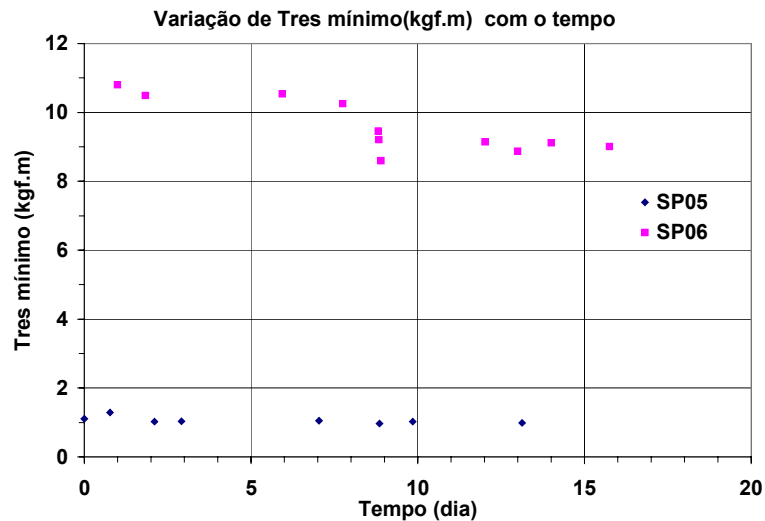


FIGURA 146 - Variação de TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia)

A primeira leitura de cada furo corresponde aos torques na amostra supostamente não-amolgada. As outras leituras podem ser consideradas na amostra amolgada. Observa-se que a variação do TE_{res} é menos significativa do que a variação do $TE_{m\acute{a}x}$.

Também pode ser observado que a variação em relação ao tempo para o furo SP05 (argila arenosa-porosa) é menor do que a do furo SP06 (areia média e fina siltosa, pouco argilosa, solo residual). Registra-se ainda uma tendência de diminuição do torque com o tempo para o furo SP06.

6.4.2 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia de Bauru – Unesp – (SP)

Na Figura 147 está apresentada a variação do torque com o tempo. Transcorreram 7 dias desde a primeira leitura até a última. O $TE_{máx}$ variou muito, mas o TE_{res} permaneceu praticamente constante, com exceção da leitura feita no último dia. Isto pode ser explicado pelo fato de que choveu nesse intervalo, o que provavelmente causou algum pequeno desmoronamento no interior do furo devido ao aumento de umidade na camada arenosa.

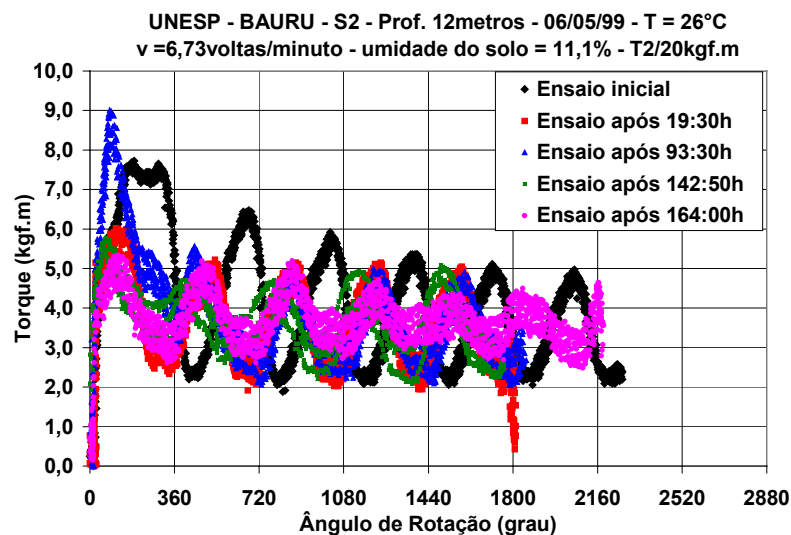


FIGURA 147 - Variação de $TE_{máx}$ e TE_{res} mínimo (kgf.m) com o Tempo (dia)
Unesp - Bauru

6.4.3 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp – (SP)

Na Figura 148 está apresentada a variação do torque com o tempo de cravação do amostrador em camada de areia fina e média, argilosa, pouco siltosa. Da mesma maneira que ocorreu no ensaio da Unesp-Bauru, o TE_{res} manteve-se praticamente constante nesse período, sendo que, nesse caso, o $TE_{máx}$ diminuiu para um determinado valor na segunda leitura, mantendo-se constante nas medidas subsequentes.

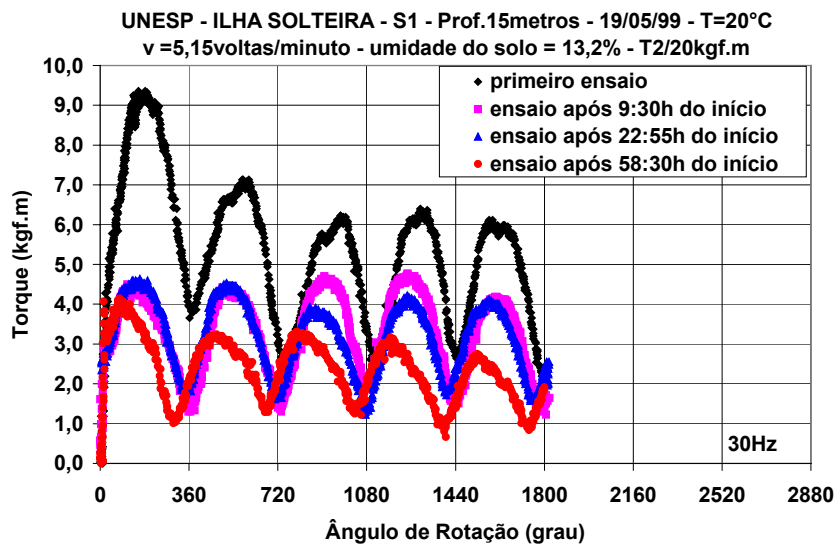


FIGURA 148 - Variação de $TE_{máx}$ e TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia) Unesp - Ilha Solteira

6.4.4 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP –São Paulo

Nas Figuras 149, 150 e 151 estão apresentadas as variações dos torques em função do tempo, para o solo siltoso de alteração de rocha do Campo Experimental da Escola Politécnica. A característica fundamental desses resultados é que nas três curvas o $TE_{máx}$ aumentou na segunda leitura. Nas Figuras 149 e 150, a segunda leitura foi feita depois de 1:25h e 2:20h, respectivamente, e observando-se que o TE_{res} manteve-se constante. Para as curvas da Figura 151, na qual a segunda medida foi feita 17:10h após a primeira, nota-se um ganho de TE_{res} , o que significa que o solo, provavelmente, foi no início amolgado e, depois com o tempo, sofreu uma acomodação das partículas, ficando com uma maior resistência.

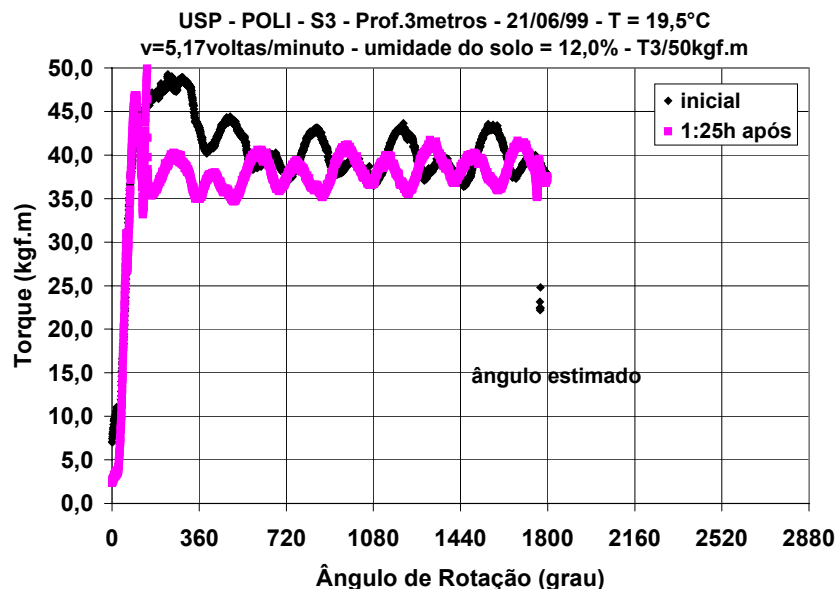


FIGURA 149 - Variação de $TE_{máx}$ e TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia) USP – Politécnica

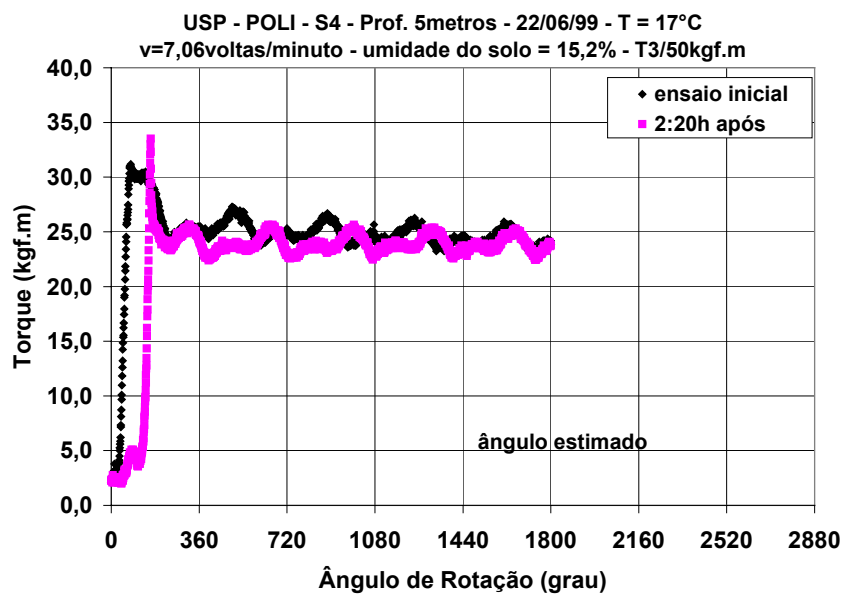


FIGURA 150 - Variação de $TE_{máx}$ e TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia) USP - Politécnica

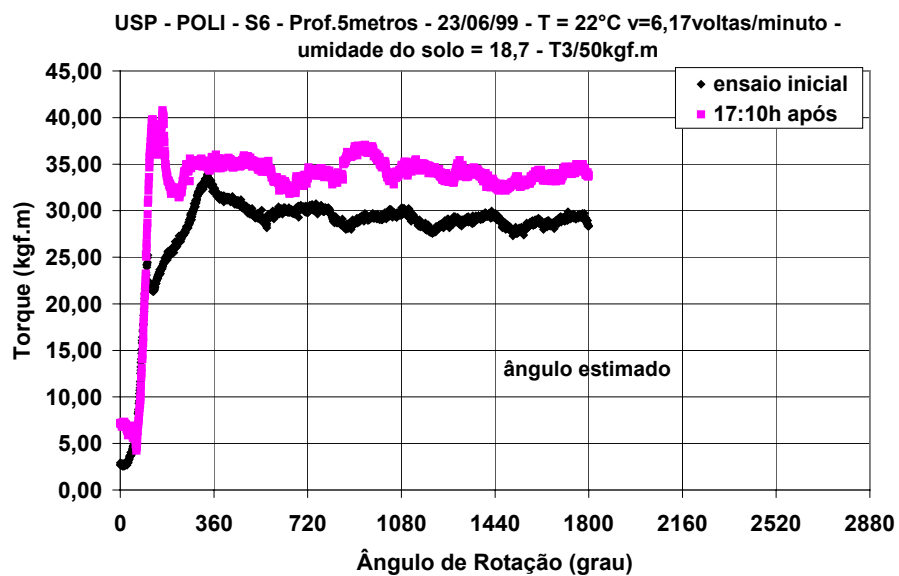


FIGURA 151 - Variação de $TE_{máx}$ e TE_{res} (kgf.m) com o Tempo (dia) - USP - Politécnica

6.4.5 – Baixada Santista – Vicente de Carvalho – Guarujá (SP)

Nos ensaios apresentados na Figura 152 é observado um acréscimo, tanto do $TE_{máx}$, quanto do TE_{res} , em função do tempo. Isto pode ser explicado por uma desestruturação do solo, em volta do amostrador, causada pelo impacto nos golpes do ensaio *SPT* e, em seguida, por uma recuperação da estrutura, além da dissipação de pressão neutra com a abertura do furo.

Os ensaios de palheta foram executados a 3 metros de distância do furo de *SPT* e conforme as prescrições da NBR 10.905. Os dois ensaios, tanto com amostra natural, como com a amostra amolgada, foram realizados até 180°, e notou-se, em ambos, uma tendência de aumento da resistência ao cisalhamento não-drenado em função do tempo. Aqui, deve ser considerado que, a partir de 90°, a amostra é amolgada mesmo no ensaio com amostra natural. Embora esse resultado possa parecer estranho para um ensaio de palheta, fica corroborado o resultado obtido através de torque.

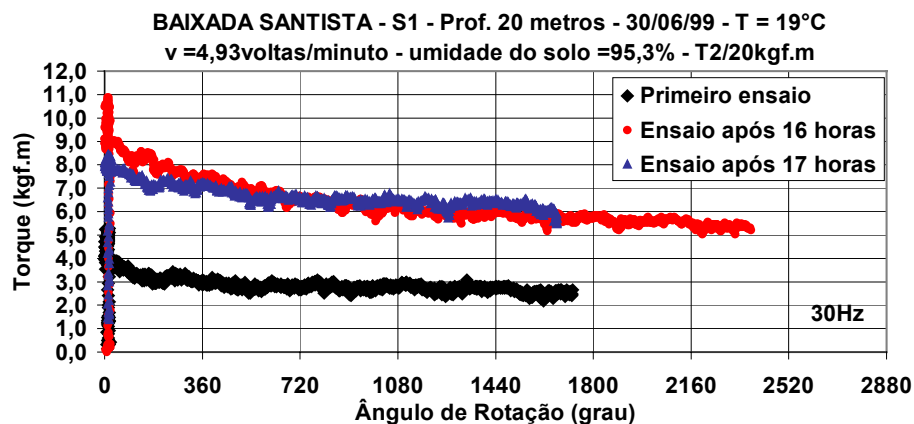


FIGURA 152 - Variação de $TE_{máx}$ e TE_{res} mínimo (kgf.m) com o Tempo (dia)
Baixada Santista

6.4.6 – Análises gerais sobre os efeitos do tempo de cravação

De uma maneira geral, a leitura do torque em função do tempo reflete a recuperação da estrutura do mesmo.

Nos Campos Experimentais da Unicamp, Unesp-Bauru e Unesp-Ilha Solteira não houve recuperação do torque máximo em função do tempo e o valor do torque residual se manteve praticamente constante. Exceção deu-se para Ilha Solteira, onde também houve um decréscimo do torque residual, caracterizando, mais uma vez, a perda do atrito lateral naqueles solos.

No Campo Experimental da USP-São Paulo ocorreu um acréscimo do torque máximo, enquanto que o torque residual manteve-se constante por algumas horas, para logo após também aumentar.

Na Baixada Santista ocorreu um aumento tanto do torque máximo, como do torque residual. Na Figura 152 ficou bem demonstrado que, logo após o amolgamento, o solo perdeu a resistência e, com o tempo, houve um aumento da mesma devido à re-acomodação das partículas, bem como dissipação da pressão neutra em função do tempo.

Assim, fica bem claro que, além do estudo do torque em função do tempo poder elucidar o comportamento do solo em função do tempo após sofrer deformação, é importantíssimo recomendar que o torque, para fins de padronização, deva ser medido logo após a cravação do amostrador, a fim de que o resultado não seja maior devido à re-estruturação do mesmo, influenciando assim, negativamente à segurança, como por exemplo, em projeto de fundação.

6.5 – ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE-DE-ROTAÇÃO NO VALOR DO TORQUE

6.5.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp – Campinas (SP)

Este estudo foi feito apenas no Campo Experimental da Unicamp durante as leituras do torque em função do tempo. Para essa análise, foram descartadas as primeiras leituras de cada furo, utilizando-se apenas aquelas correspondentes à amostra amolgada. Figuras 153 e 154.

Percebe-se maior variação nos resultados do solo residual. Pode-se observar também que a velocidade-de-rotação não exerce influência significativa sobre os resultados.

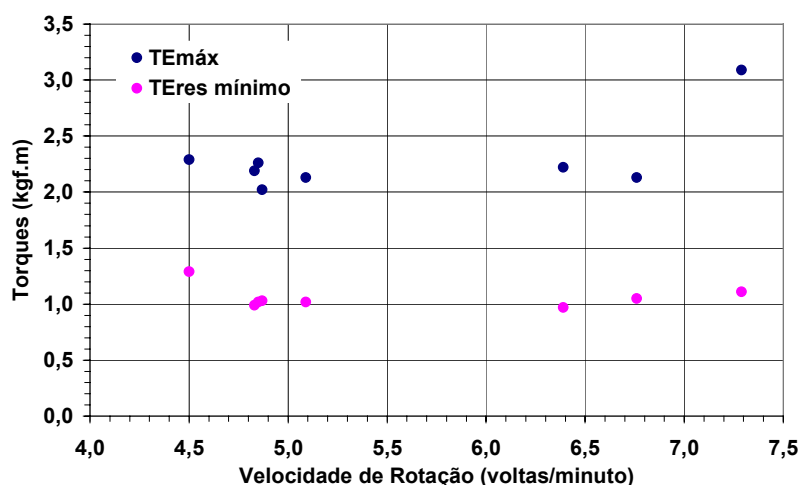


FIGURA 153 - Variação de T_{Emax} e T_{Eres} (kgf.m) com a velocidade-de-rotação (voltas/minuto) para o Furo SP05

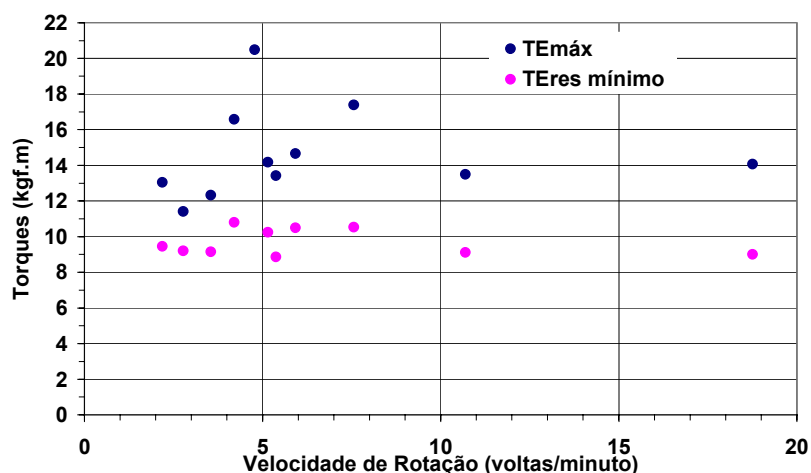


FIGURA 154 - Variação de $TE_{máx}$ e TE_{res} (kgf.m) com a velocidade-de-rotação (voltas/minuto) para o Furo SP06

6.6 – ESTUDO DA OBTENÇÃO DO TORQUE RESIDUAL

O objetivo deste item é fornecer ao meio técnico o número de voltas necessárias para a obtenção do torque residual durante a realização do ensaio *SPT-T*.

Nos ensaios realizados, observa-se que, para os solos argilosos, de uma maneira geral, o torque tende a estabilizar-se logo na primeira volta, sendo duas voltas um número seguramente suficiente para a determinação desse parâmetro. Esse comportamento se repetiu para os solos siltosos, que, quando existentes em um determinado Campo Experimental, corresponderam às camadas de solo residual.

Por outro lado, observa-se nas camadas de solos arenosos que, em grande parte dos resultados obtidos, a curva torque *versus* ângulo-de-rotação não se estabiliza, havendo uma queda constante dos valores de torque. Existem, também, comportamentos típicos em alguns casos, como apresentado a seguir.

No Campo Experimental de São Carlos, por exemplo, a camada acima da linha-de-seixos apresentou a curva típica representada na Figura 155, na camada da linha-de-seixos, a Figura 156, e abaixo da linha-de-seixos, uma camada de três metros de espessura com a curva da Figura 157.

Através da Figura 155, pode-se constatar que o torque começa a ficar constante após a quarta volta, tendo esse comportamento se repetido em algumas camadas arenosas de Bauru e Ilha Solteira.

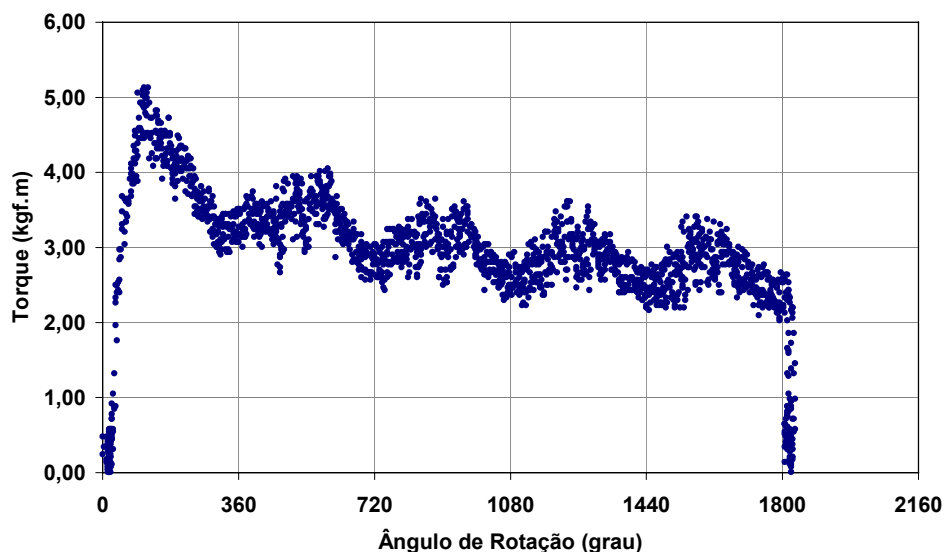


FIGURA 155 - Curva típica da camada acima da linha-de-seixos para o Campo Experimental da EESC- São Carlos (SP) - Solo Arenoso

No Campo Experimental de Bauru, a curva típica da primeira camada está representada na Figura 158, na qual se observa um torque máximo inicial, um decréscimo e depois da segunda volta, uma elevação . É importante verificar que

esse fato não ocorreu de maneira uniforme em todos os furos, como aconteceu com as três curvas típicas de São Carlos. Um explicação provável é que, em Bauru, em sendo o solo mais arenoso, existe uma maior facilidade de desmoronamento dentro do furo, aumentando o contato solo-haste-amostrador e, por consequência, o atrito.

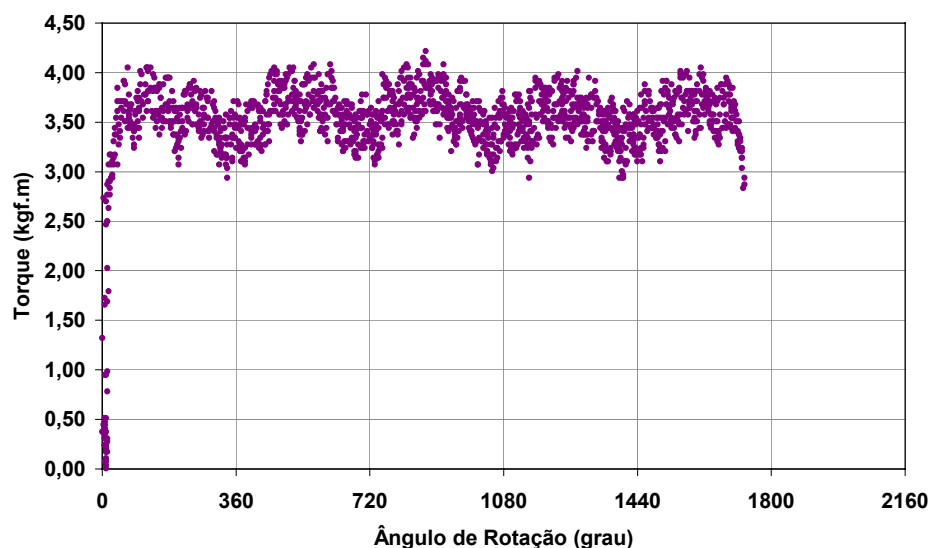


FIGURA 156 - Curva típica da camada da linha-de-seixos para o Campo Experimental da EESC- São Carlos (SP) - Solo Arenoso

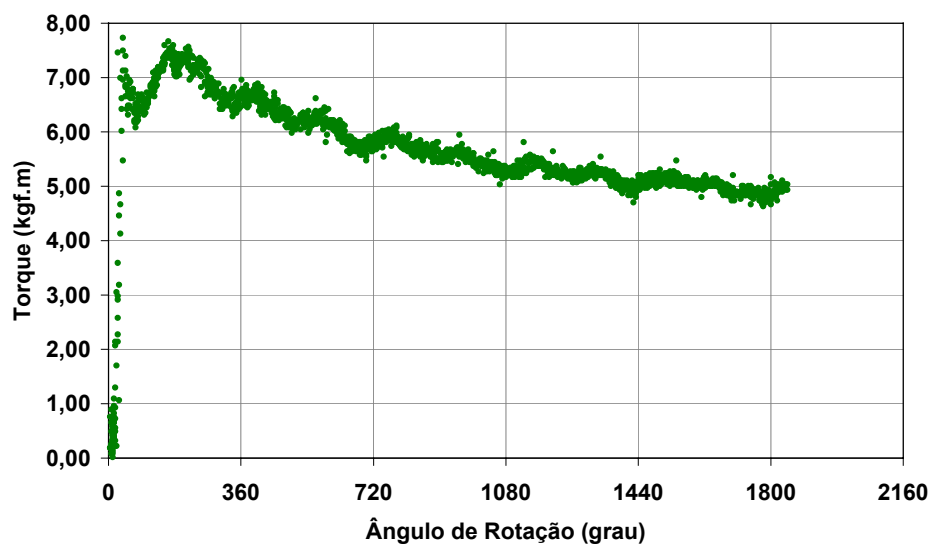


FIGURA 157 - Curva típica da camada abaixo da linha-de-seixos para o Campo Experimental da EESC- São Carlos (SP) - Solo Arenoso

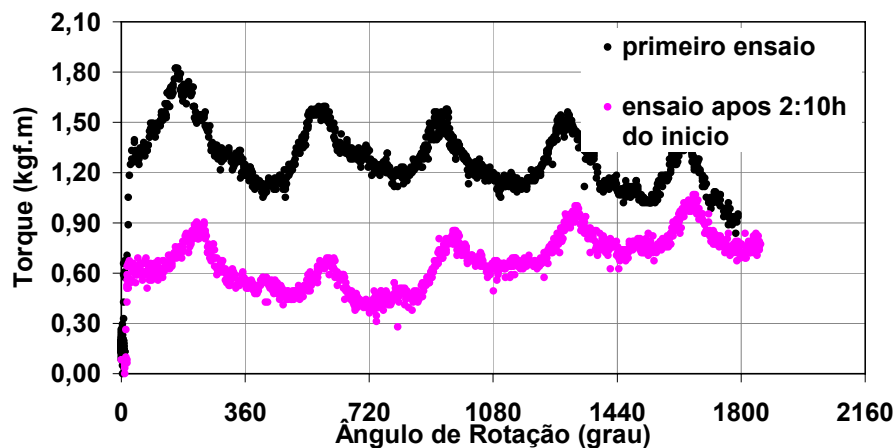


FIGURA 158 - Curva típica da camada abaixo da linha-de-seixos para o Campo Experimental da UNESP - Bauru (SP) - Solo Arenoso

Teoricamente, o torque residual pode ser definido como o valor mínimo medido na primeira volta, após ter-se atingido um valor de pico, que corresponde ao torque máximo. Depois disso, sua medida começa a ser influenciada por outros fatores como: alargamento do furo e drenagem da água para dentro do furo. Verificou-se também, através das curvas, que praticamente não existe diferença entre a medida na primeira e na segunda volta.

Mesmo assim, recomenda-se que a leitura seja efetuada quando completada a segunda volta, pois, além de ser a favor da segurança, este procedimento proporciona ao operador mais tempo para fazer a leitura e, por conseguinte, melhorando a qualidade da mesma.

6.7 – ESTUDO DA OBTENÇÃO DO TORQUE MÁXIMO

A leitura do torque máximo através dos torquímetros analógicos convencionais existentes no mercado mostrou-se satisfatória. Por outro lado, a utilização do torquímetro com ponteiro de arraste traz uma melhor qualidade no resultado a medida que a leitura não seria mais influenciada por um possível erro do operador.

O ângulo-de-rotação no qual a medida do torque máximo é obtida varia muito sendo possível concluir apenas que a mesma ocorre antes de ser completada a primeira volta.

No Quadro 104 estão apresentadas as análises estatísticas no que se refere ao ângulo-de-rotação no instante da leitura do torque máximo em função do tipo de solo. Nota-se a grande variabilidade para os solos arenosos e que, para os solos argiloso e siltosos, o valor do ângulo correspondente ao torque máximo concentra-se mais entre 0 e 40 graus. Por outro lado, o valores para a argila orgânica é bem definido, sempre menor do que 30 graus, com uma média de 14 graus.

Os histogramas apresentados nas Figuras de 159 a 162 ilustram melhor essa variabilidade.

QUADRO 104 - Análises Estatísticas para a medida do ângulo-de-rotação no instante da leitura do torque máximo

Medida do Ângulo-de-rotação no Instante do Torque Máximo				
	Areia	Argila	Silte	Argila orgânica
Ângulo-de-rotação médio (°)	132,95	43,53	50,07	14,11
sd (°)	69,28	41,66	47,76	5,01
cv (%)	52,11	95,72	95,38	35,52
Valor máximo (°)	341,04	171,37	193,25	24,08
Valor mínimo (°)	10,33	0,02	0,80	2,33

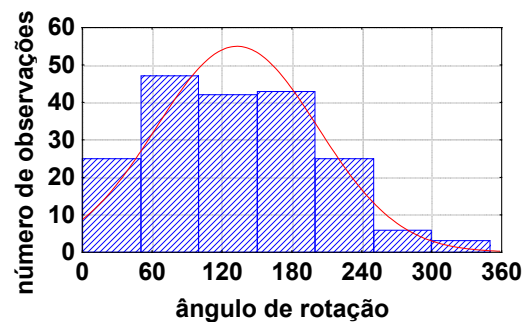


FIGURA 159 - Histograma da medida do ângulo-de-rotação correspondente ao *TEmáx* para solos arenosos

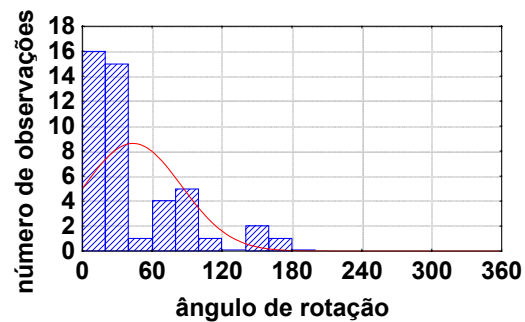


FIGURA 160 - Histograma da medida do ângulo-de-rotação correspondente ao *TEmáx* para solos argilosos

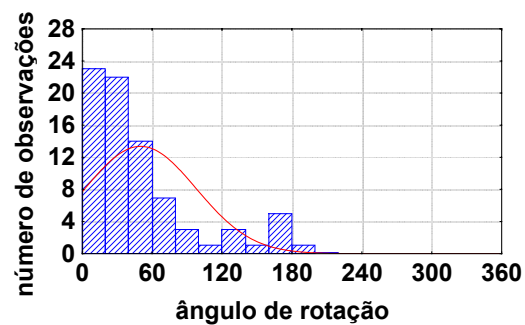


FIGURA 161 - Histograma da medida do ângulo-de-rotação correspondente ao *TEmáx* para solos siltosos

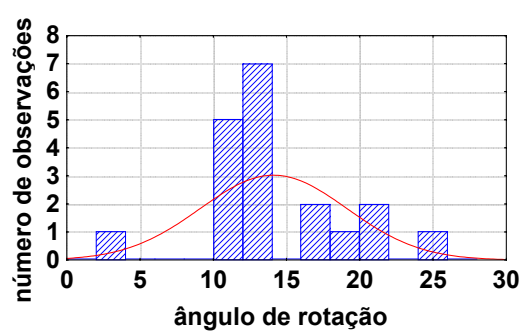
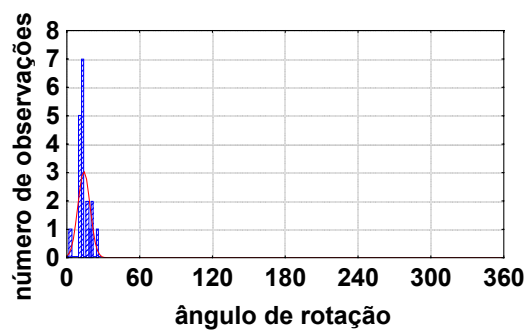


FIGURA 162 - Histograma da medida do ângulo-de-rotação correspondente ao *TE_{máx}* para a argila orgânica da Baixada Santista

7. RELAÇÃO T/N

A relação T/N tem sido utilizada por alguns engenheiros como parâmetro de classificação de solos. Assim, faz-se necessário um estudo detalhado desse parâmetro com o objetivo de discutir a viabilidade de utilização do ensaio $SPT-T$ para essa função.

Primeiramente, são analisados os dados obtidos dos acervos dos Campos Experimentais, além de 6987 pares de dados ($T;N$) coletados de três empresas do Estado de São Paulo, todos já existentes, anteriormente a esta pesquisa.

Após isto, estudam-se os ensaios realizados para esta pesquisa nos sete Campos Experimentais, cujos resultados estão apresentados no Capítulo 5. Para esta análise, optou-se pela utilização dos dados obtidos através dos torquímetros analógicos, para que se mantenha o mesmo tipo de equipamento usado na análise do parágrafo anterior.

No final deste capítulo, no Quadro 126 são apresentados, em conjunto, todos os valores de T/N encontrados nas diversas análises possibilitando as conclusões gerais considerando-se todos os dados.

7.1 – ANÁLISES DOS DADOS COLETADOS JUNTO ÀS EMPRESAS E CAMPOS EXPERIMENTAIS

No Quadro 105 está apresentado o resumo quantitativo dos dados coletados. Os mesmos foram primeiramente separados em tipo de solo e posição em relação ao nível d'água, para depois serem cadastrados no *Microsoft Access*, cuja página de entrada é apresentada na Figura 163.

QUADRO 105 - Resumo quantitativo dos dados por tipo de solo coletado nos acervos dos Campos Experimentais e das empresas executoras

TIPO DE SOLO	ACIMA DO NÍVEL D'ÁGUA	ABAIXO DO NÍVEL D'ÁGUA
Argila	0	1
Argila siltosa	93	567
Argila silto-arenosa	905	1396
Argila arenosa	8	265
Argila areno-siltosa	10	4
Areia	5	2
Areia siltosa	78	559
Areia silto-argilosa	8	109
Areia argilosa	258	1210
Areia argilo-siltosa	0	17
Silte	0	0
Silte arenoso	232	279
Silte areno-argiloso	354	503
Silte argilosa	2	7
Silte argilo-arenoso	81	34

SILTE ARGILOSO (abaixo nível d'água)

CÓD	1	N1	3	Mat Orgânica	Não
OBRA	251/94	D1	15	mica	Não
EXECUTORA	engesolos	N2	6	pedregulho	Não
LOCAL	r prof djalma bento r hu	D2	16	limonita	Não
CIDADE	sp	N3	7	caulim	Sim
GEOLOGIA	res	D3	15		
NA	6.6	N72	13	h (cm)	46
SP	1	D72	31	fst Max(kgf/cm2)	1,074
Profundidade	8	Tmax(kgf*m)	20	fst Max(kPa)	107,4
		Tres(kgf*m)	#Nome	fst Res(kgf/cm2)	
				fst Res(kPa)	

Registro: 1 de 7
Modo formulário

FIGURA 163 - Entrada de dados através do *Microsoft Access*

O banco de dados foi construído utilizando-se os *Microsoft Excel* e *Access*. Os dados foram divididos em arquivos, conforme o tipo de solo, como apresentado a seguir:

- Areia;
- Areia siltosa;
- Areia silto-argilosa;
- Areia argilosa;
- Areia argilo-siltosa;
- Silte;
- Silte arenoso;
- Silte areno-argiloso;
- Silte argiloso;
- Silte argilo-arenoso;
- Argila;
- Argila arenosa;

- Argila areno-siltosa;
- Argila siltosa;
- Argila silto-arenosa.

Cada arquivo foi construído em um tabela, contendo os seguintes dados:

- Código da obra;
- Empresa executora;
- Local;
- Cidade;
- Geologia (sedimento marinho, residual, retrabalhado, poroso, aluvião);
- Nível d'água, N.A (presença ou não);
- SP, número da sondagem;
- Prof.(m), profundidade em que foram obtidos os respectivos valores;
- N1, que corresponde ao valor N do “primeiro intervalo dos 15cm”;
- D1, que corresponde ao deslocamento real do “primeiro intervalo dos 15cm”;
- N2, que corresponde ao valor N do “segundo intervalo dos 15cm”;
- D2, que corresponde ao deslocamento real do “segundo intervalo dos 15cm”;
- N3, que corresponde ao valor N do “terceiro intervalo dos 15 cm”;
- D3, que corresponde ao deslocamento real do “terceiro intervalo dos 15 cm”;
- N72, que corresponde ao valor N dos “últimos 30 cm”;
- D72, que corresponde ao deslocamento real dos “últimos 30 cm”;
- $T_{max}(kgf \cdot m)$, torque necessário para mobilizar a resistência do amostrador;
- $T_{res}(kgf \cdot m)$, torque residual;
- Matéria orgânica, presença na camada;
- Mica, presença na camada;
- Pedregulho, presença na camada;
- Limonita, presença na camada;
- Caulim, presença na camada;
- h (cm), comprimento do amostrador mobilizado;
- fT_{max} (kPa), tensão de atrito lateral;
- fT_{res} (kPa), tensão de atrito lateral residual.

Os valores T/N , apresentados nesta pesquisa, referem-se ao torque em unidade "kgf.m" dividido pelo número de golpes necessários à penetração dos últimos 30 cm do amostrador, representado pelo índice "N".

A análise efetuada permitiu avaliar a variação da relação T/N para cada tipo de solo em função da geologia, profundidade e presença de nível d'água, matéria orgânica, mica, pedregulho e limonita.

Como esses dados foram retirados de relatórios de sondagem, as análises foram realizadas em função das análises tátil-visuais, não sendo possível identificar a granulometria da areia (isto é, fina, média e grossa em termos de porcentagem), bem como a quantidade de matéria orgânica, mica, pedregulho e limonita. Assim, apenas foi considerada a presença, ou não, desses materiais, uma vez que influem na relação T/N .

Também não foram consideradas as camadas nas quais o valor do torque ultrapassou a capacidade do torquímetro, ou seja, 80 kgf*m.

Para todas as análises, os valores de torque foram corrigidos para comprimento de cravação do amostrador igual a 45cm e, os índices de resistência, N , foram recalculados para penetração de 30 cm.

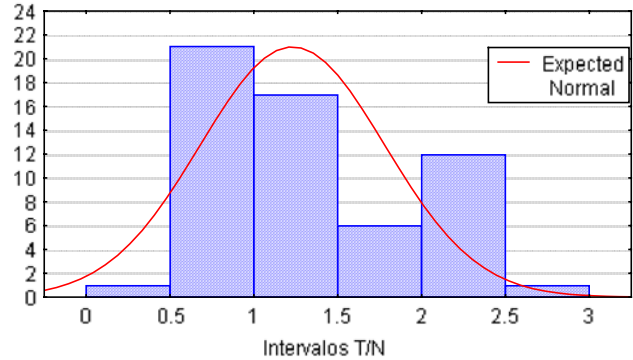
Convém ressaltar a grande dispersão dos resultados, a qual será apresentada a seguir nos histogramas. Aqui é importante mencionar que foram desprezados os dados nos quais as amostras de mesma granulometria continham pedregulhos, evitando-se assim, resultados falseados.

Para permitir uma melhor visualização geral das análises, as mesmas foram divididas em: sedimentos marinhos, solos colapsíveis e solos residuais.

7.1.1 – Sedimentos Marinhos

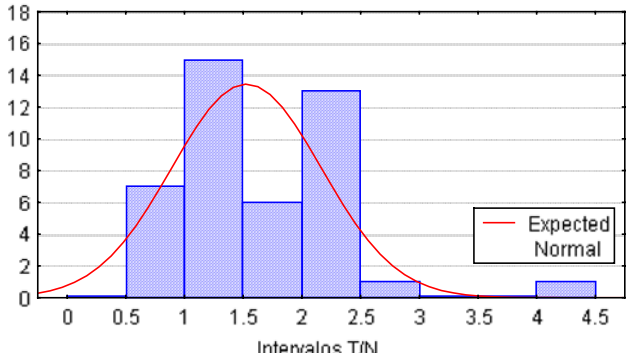
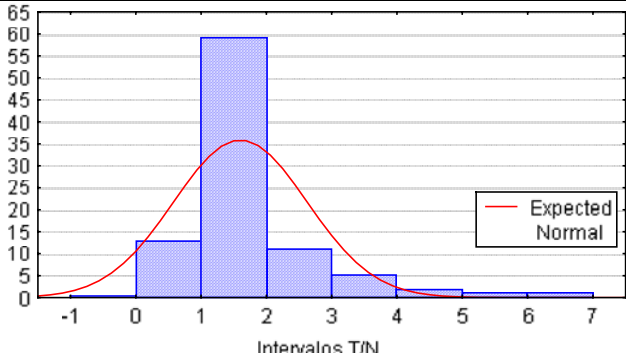
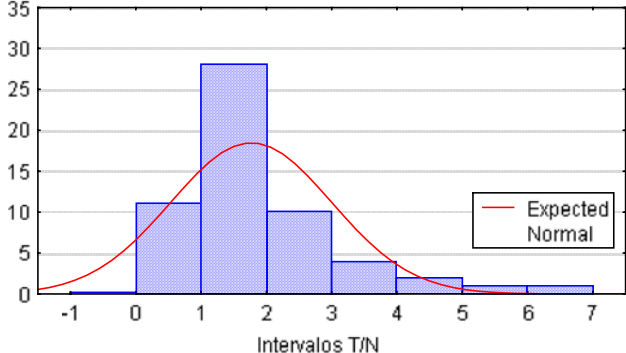
Os Quadros 106 a 108 contêm as análises estatísticas para os Sedimentos Marinhos. Foram desprezadas sondagens nas quais os solos continham conchas, pois estes materiais podem surtir o mesmo efeito dos pedregulhos e falsear o valor de N . As relações T/N (kgf.m/golpes) apresentaram valores médios entre 1,2 e 1,6. Quando foram consideradas apenas as argilas moles e muito moles, $N < 4$, as relações aumentaram para valores de 1,4 a 1,8. Observando-se os histogramas, percebe-se que existe uma grande dispersão em alguns casos. Essa dispersão pode ter ocorrido, em parte, devido aos valores de torque abaixo da capacidade dos torquímetros.

QUADRO 106 - Análise das relações T/N para sedimentos marinhos

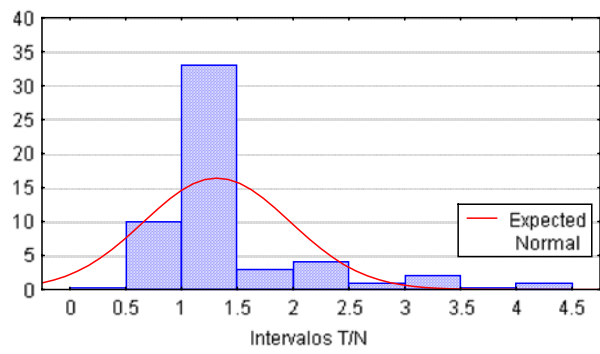
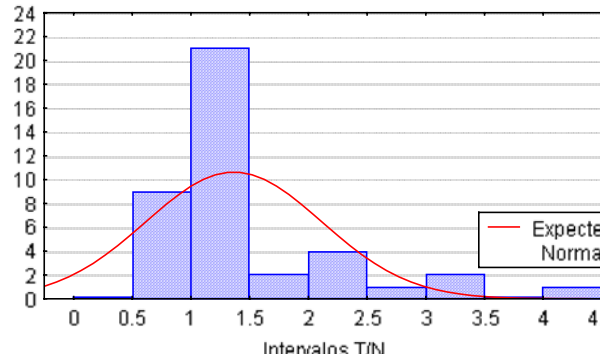
Solo	Análise Descritiva	
Histograma T/N		
Regressão Linear Passando pela origem e R ²		
Argila siltosa; sedimento marinho - Município de Guarujá - Profundidade entre 8 e 42m		
		
T = 0,83 * N R ² = 0,82		

Número de dados	58
Média	1,23
Valor Mínimo	0,44
Valor Máximo	2,67
Desvio-padrão	0,55
Coefficiente-de-variação	44,7 (%)
Intervalo-de-confiança	1,08 a 1,37
erro	0,072

QUADRO 107 - Análise das relações T/N para sedimentos marinhos

Solo		Análise Descritiva	
Histograma T/N			
Regressão Linear Passando pela origem e R ²			
Argila siltosa; sedimento marinho - Município de Guarujá - Profundidade entre 8 e 35m - N<4		Número de dados	43
		Média	1,53
		Valor Mínimo	0,67
		Valor Máximo	4,0
		Desvio-padrão	0,64
		Coeficiente-de-variação	41,8 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,33 a 1,72
		erro	0,097
T = 1,44 * N R ² = 0,86			
Argila silto-arenosa, sedimento marinho - Municípios Guarujá, Ubatuba, Rio de Janeiro e Paranaguá Profundidade 2 a 36m		Número de dados	92
		Média	1,60
		Valor Mínimo	0,50
		Valor Máximo	6,45
		Desvio-padrão	1,02
		Coeficiente-de-variação	63,8 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,39 a 1,81
		erro	0,107
T = 1,24 * N R ² = 0,93			
Argila silto-arenosa, sedimento marinho - Municípios Guarujá, Ubatuba, Rio de Janeiro e Paranaguá Profundidade 2 a 36m N<4		Número de dados	57
		Média	1,77
		Valor Mínimo	0,50
		Valor Máximo	6,45
		Desvio-padrão	1,23
		Coeficiente-de-variação	69,5 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,44 a 2,09
		erro	0,163
T = 1,50 * N R ² = 0,65			

QUADRO 108 - Análise das relações T/N para sedimentos marinhos

Solo		Análise Descritiva	
Histograma T/N			
Regressão Linear Passando pela origem e R ²			
Argila silto-arenosa, sedimento marinho - Municípios Guarujá, Profundidade 2 a 36m		Número de dados	54
		Média	1,32
		Valor Mínimo	0,50
		Valor Máximo	4,00
		Desvio-padrão	0,66
		Coeficiente-de-variação	50,0 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,14 a 1,50
		erro	0,089
T = 1,19 * N R ² = 0,93			
Argila silto-arenosa, sedimento marinho - Municípios Guarujá, Profundidade 2 a 33m N<4		Número de dados	40
		Média	1,37
		Valor Mínimo	0,50
		Valor Máximo	4,00
		Desvio-padrão	0,75
		Coeficiente-de-variação	54,7 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,13 a 1,60
		erro	0,118
T = 1,17 * N R ² = 0,84			

7.1.2 – Solos Colapsíveis

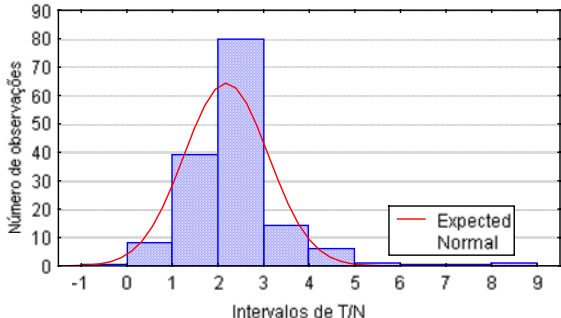
Na análise de T/N para solos colapsíveis, utilizaram-se dados obtidos de uma profundidade máxima de até 6,0 metros e sempre acima do nível d'água. Os solos foram separados em solos da Bacia Sedimentar de São Paulo e solos do interior do Estado de São Paulo. Também analisaram-se os solos do Campo

Experimental de Engenharia Geotécnica no Campus da Universidade Estadual de Londrina (UEL), cujo solo provém do intemperismo do basalto.

Segundo Massad *et al* (1992), as argilas porosas vermelhas, que recobrem as partes altas da cidade de São Paulo, são solos lateríticos, face à elevada porosidade, a colapsibilidade e a presença de lentes de limonita. Os dados aqui apresentados são baseados apenas na classificação tátil-visual apresentada nos relatórios de sondagens de simples reconhecimento, não pretendendo assim, afirmar que esses solos são colapsíveis e sim atentar para o fato de que existe a possibilidade de o serem.

Desta maneira, para os solos da cidade de São Paulo foram analisados 149 dados de argila silto-arenosa, porosa e a média do T/N foi 2,2, com um intervalo-de-confiança de 95% entre 2,03 e 2,33, muito embora o desvio-padrão de 0,92 seja bem alto para a média dos resultados, Quadro 109.

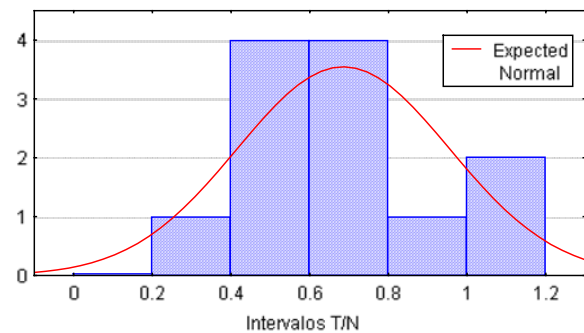
QUADRO 109 - Análise das relações T/N para as argilas porosas da Cidade São Paulo

Solo	Análise Descritiva	
Histograma T/N		
Regressão Linear Passando pela origem e R^2		
Argila silto arenosa, porosa - Cidade de São Paulo - profundidade $\leq 6m$	Número de dados	149
	Média	2,18
	Valor Mínimo	0,40
	Valor Máximo	8,00
	Desvio-padrão	0,92
	Coefficiente-de-variação	42,2 (%)
	Intervalo-de-confiança	2,03 a 2,33
	erro	0,076
$T = 1,71 * N$ $R^2 = 0,86$		

Por outro lado, os solos argilosos do Campo Experimental da Feagri-Unicamp, de origem basáltica, apresentaram uma relação T/N média de 0,69 e intervalo-de-confiança de 95% entre 0,51 e 0,85, Quadro 110, aproximando-se dos valores (média 0,42 e intervalo-de-confiança ente 0,31 e ,52) da Universidade Estadual de Londrina, UEL, obtidos de Branco *et al* (1998), cujas análises estão no Quadro 111.

As análises feitas para os solos arenosos dos Campos Experimentais da Unesp de Ilha Solteira e Unesp de Bauru apresentaram relações médias T/N iguais a 0,67 e 0,75, respectivamente. Por outro lado, as análises realizadas com os solos arenosos da EESC-USP apresentaram uma relação T/N média igual a 1,73 com intervalo-de-confiança de 95% entre 1,23 e 2,25. Os três locais apresentam granulometria semelhante.

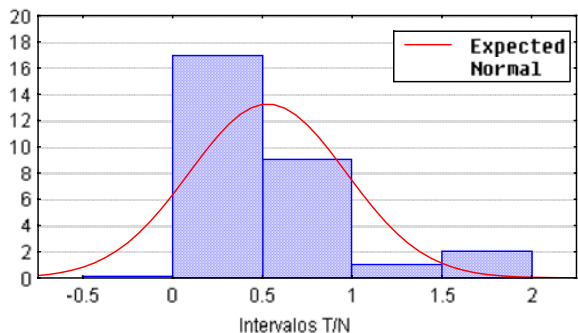
QUADRO 110 - Análise das relações T/N para solos colapsíveis argilosos do interior do Estado de São Paulo

Solo	Análise Descritiva	
Histograma T/N		
Regressão Linear Passando pela origem e R ²		
Argila silto-arenoso, porosa - Cidade de Campinas - profundidade até 6m.		
		
T = 0,70 * N R ² = 0,86		
	Número de dados	12
	Média	0,69
	Valor Mínimo	0,27
	Valor Máximo	1,14
	Desvio-padrão	0,27
	Coeficiente-de-variação	39,1 (%)
	Intervalo-de-confiança	0,51 a 0,85
	erro	0,077

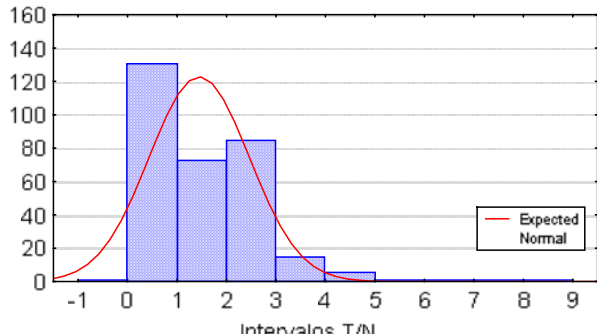
No Quadro 112 está apresentada a estatística da relação geral T/N , desconsiderando-se a geologia para todos os dados do locais analisados (São

Paulo, Campinas, Londrina, Ilha Solteira, Bauru e São Carlos). Através do histograma percebe-se que os valores concentram-se entre 0 e 3, considerado um intervalo muito grande e que vem reforçar a afirmação de que correlações devem ser regionais e considerando-se sempre a gênese do solo. No Quadro 113 estão as análises para a cidade de Ilha Solteira, Bauru e São Carlos.

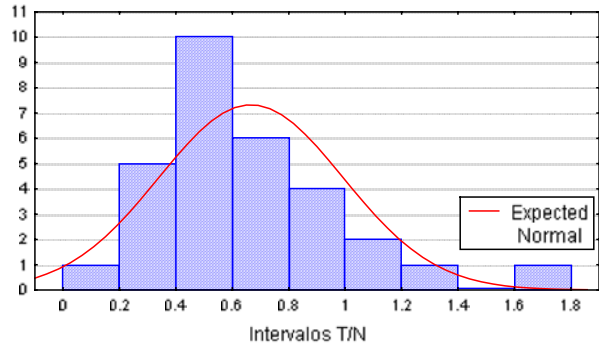
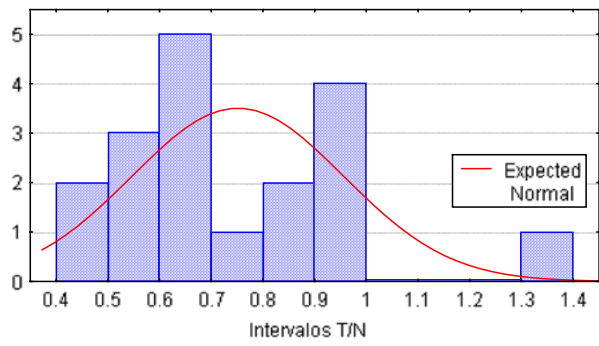
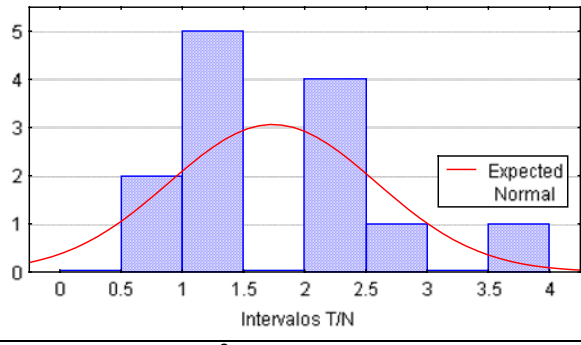
QUADRO 111 - Análise das relações T/N para solos colapsíveis do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica no Campus da UEL

Solo	Análise Descritiva	
Histograma T/N		
Regressão Linear Passando pela origem e R^2		
Argila silto-arenosa, porosa - Cidade de Londrina - profundidade até 6m.	Número de dados	29
	Média	0,42
	Valor Mínimo	0,06
	Valor Máximo	1,75
	Desvio-padrão	0,27
	Coefficiente-de-variação	64,3 (%)
	Intervalo-de-confiança	0,31 a 0,52
	erro	0,053
$T = 0,58 * N$ $R^2 = 0,66$		

QUADRO 112 - Relação geral T/N para solos colapsíveis

Solo	Análise Descritiva	
Histograma T/N		
Regressão Linear Passando pela origem e R^2		
Solos colapsíveis desconsiderando a origem geológica e localização	Número de dados	312
	Média	1,45
	Valor Mínimo	0,043
	Valor Máximo	8,00
	Desvio-padrão	1,03
	Coefficiente-de-variação	71,0 (%)
	Intervalo-de-confiança	1,34 a 1,56
	erro	0,057

QUADRO 113 - Análise das relações T/N para solos colapsíveis arenosos do interior do Estado de São Paulo

Solo	Análise Descritiva	
Histograma T/N		
Regressão Linear Passando pela origem e R^2		
Areia argilosa - Cidade de Ilha Solteira - profundidade até 6m	Número de dados	30
	Média	0,67
	Valor Mínimo	0,17
	Valor Máximo	1,67
	Desvio-padrão	0,33
	Coeficiente-de-variação	49,3 (%)
	Intervalo-de-confiança	0,54 a 0,79
	erro	0,059
$T = 0,57 * N$ $R^2 = 0,88$		
Areia argilosa - Cidade de Bauru - profundidade até 6m	Número de dados	18
	Média	0,75
	Valor Mínimo	0,50
	Valor Máximo	1,30
	Desvio-padrão	0,20
	Coeficiente-de-variação	26,7 (%)
	Intervalo-de-confiança	0,65 a 0,85
	erro	0,048
$T = 0,72 * N$ $R^2 = 0,95$		
Areia argilosa - Cidade de São Carlos - profundidade até 6m	Número de dados	13
	Média	1,73
	Valor Mínimo	0,67
	Valor Máximo	3,50
	Desvio-padrão	0,85
	Coeficiente-de-variação	49,1 (%)
	Intervalo-de-confiança	1,23 a 2,25
	erro	0,23
$T = 1,35 * N$ $R^2 = 0,88$		

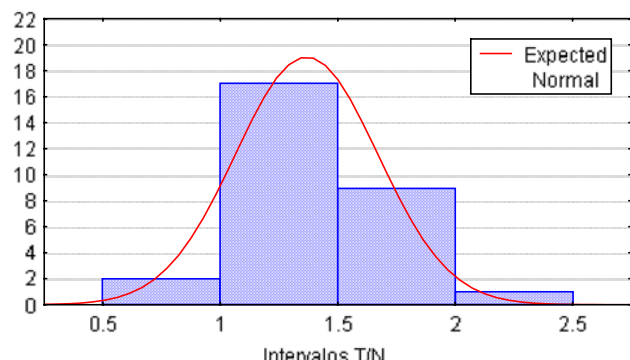
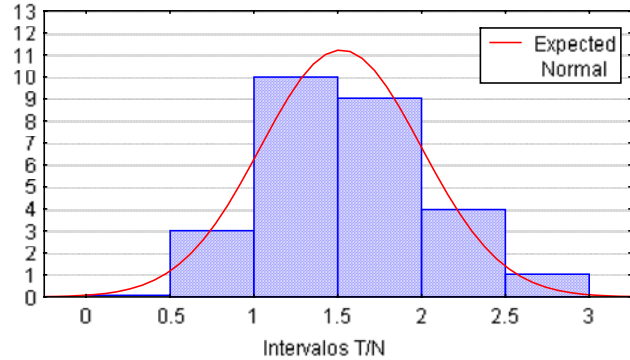
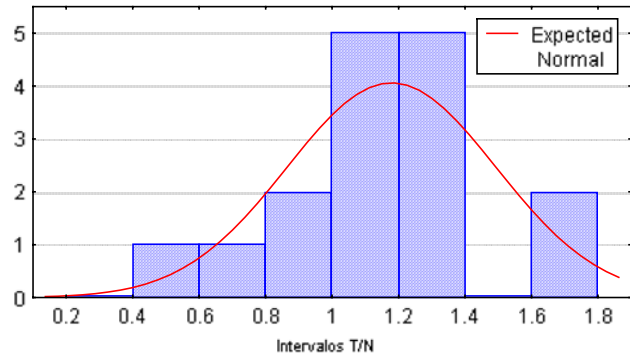
7.1.3 – Solos Residuais

Os solos residuais registrados no banco de dados são, em sua maioria, solos siltosos. Foram analisados 1279 pares de dados de solos residuais siltosos (Quadros de 114 a 117) e 88 pares de solos arenosos (Quadro 118). Para efetuar as análises, procurou-se dividir os dados por tipo de solo, local e presença do nível d'água; além de terem sido desprezados os dados que continham pedregulho. Também não se levou em consideração a presença ou não de mica, porque a maioria dos solos residuais possuem este mineral.

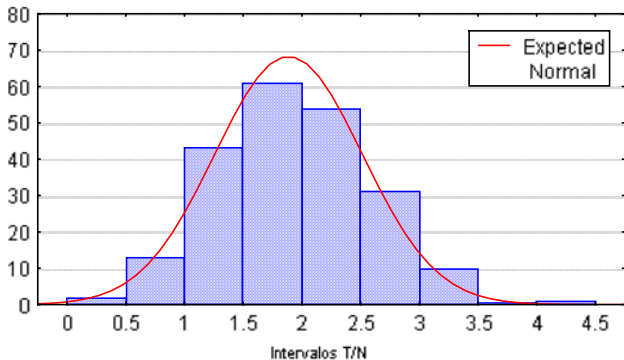
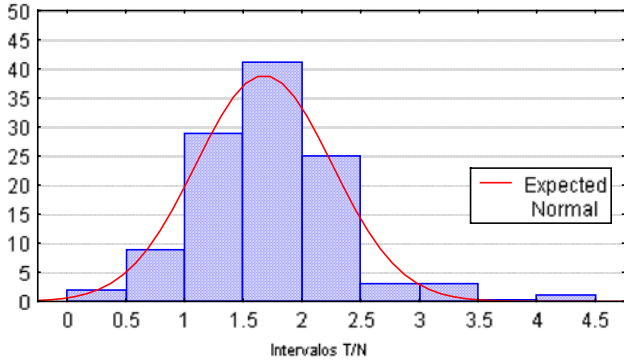
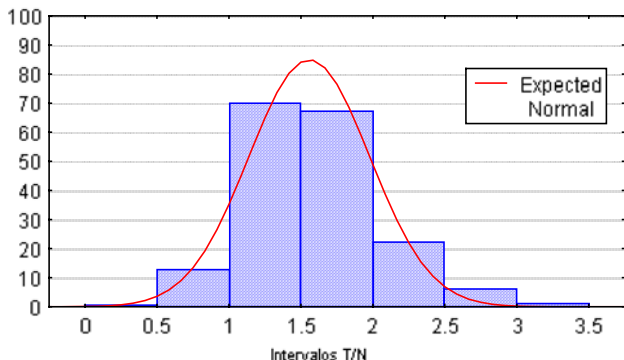
Para os solos siltosos, possuindo-se quantidade suficiente para análise estatística, foram feitas cinco análises, considerando-se a granulometria e presença do nível d'água. Os resultados dessas cinco análises foram praticamente iguais, havendo um pequeno aumento de 12% na relação média T/N para os solos abaixo do nível d'água. Os intervalos-de-confiança a 95% também tiveram seus valores máximos menores que 2,0. Talvez isto se deva ao fato de que os dados com pedregulho foram desprezados, os quais, como constatado em análises, aumentam a relação T/N .

Outros solos residuais aqui analisados foram os do litoral do Estado de São Paulo. Na cidade do Guarujá, por exemplo, foram analisados dados de silte areno-argiloso (Quadro 116) e areia siltosa (Quadro 118), ambos abaixo do nível d'água, cujas médias foram 2,27 e 1,51, respectivamente, com coeficientes-de-variação 68,3% e 47,7%, valores estes muito altos. Coincidentemente, as análises para essa cidade apresentaram dispersões maiores do que para outros locais do litoral de São Paulo.

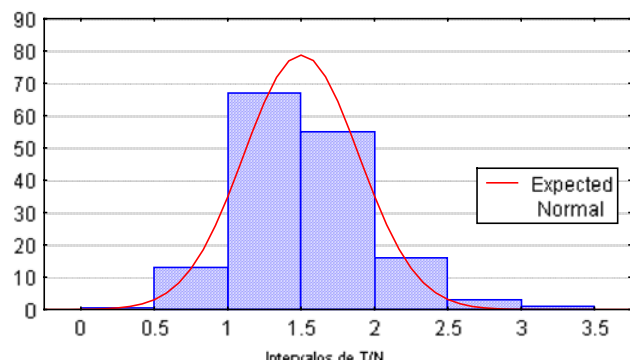
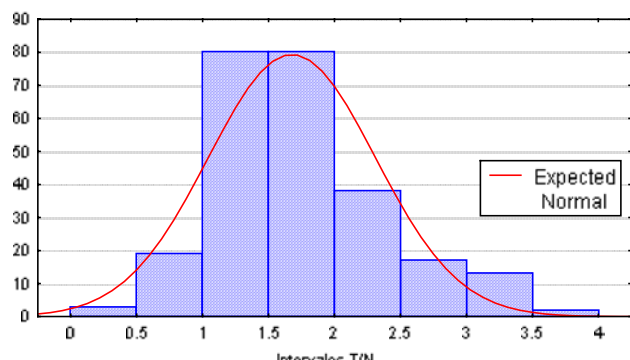
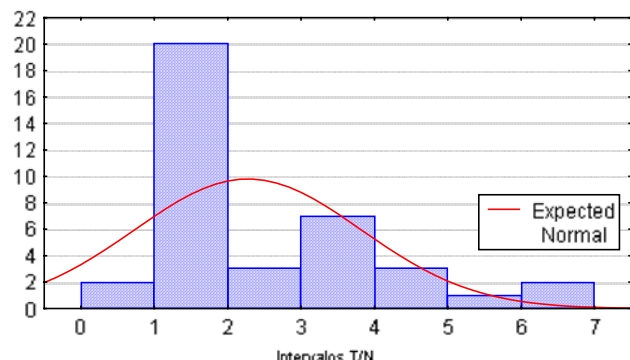
QUADRO 114 - Análise das relações T/N para solos residuais

Solo		Análise Descritiva	
Histograma T/N			
Regressão Linear Passando pela origem e R ²			
Silte argilo-arenoso - acima nível d'água - Cidade de São Paulo - profundidade 3 a 14m		Número de dados	29
		Média	1,37
		Valor Mínimo	0,76
		Valor Máximo	2,44
		Desvio-padrão	0,30
		Coefficiente-de-variação	21,9 (%)
		Intervalo-de-confiança erro	1,25 a 1,48
			0,056
T = 1,41 * N R ² = 0,97			
Silte argilo-arenoso - acima nível d'água - Cidade de Campinas - profundidade 6 a 20m		Número de dados	27
		Média	1,52
		Valor Mínimo	0,50
		Valor Máximo	2,80
		Desvio-padrão	0,48
		Coefficiente-de-variação	31,6 (%)
		Intervalo-de-confiança erro	1,33 a 1,71
			0,092
T = 1,53 * N R ² = 0,97			
Silte argilo-arenoso - acima nível d'água - Cidade de São Sebastião - profundidade 1 a 4m		Número de dados	16
		Média	1,18
		Valor Mínimo	0,50
		Valor Máximo	1,75
		Desvio-padrão	0,31
		Coefficiente-de-variação	26,3 (%)
		Intervalo-de-confiança erro	1,01 a 1,35
			0,079
T = 0,79 * N R ² = 0,85			

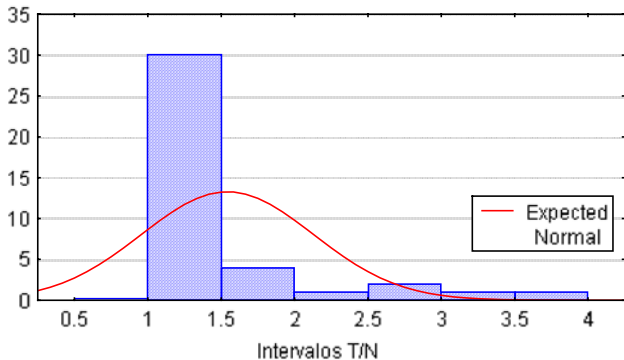
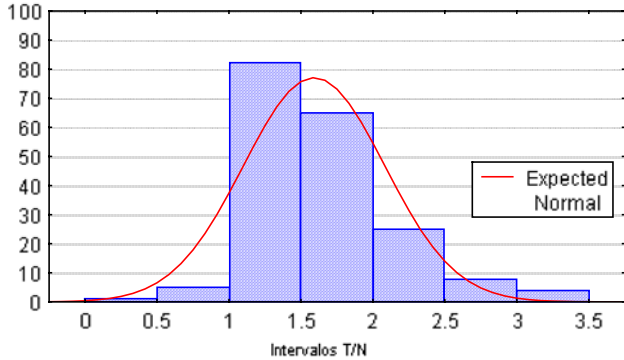
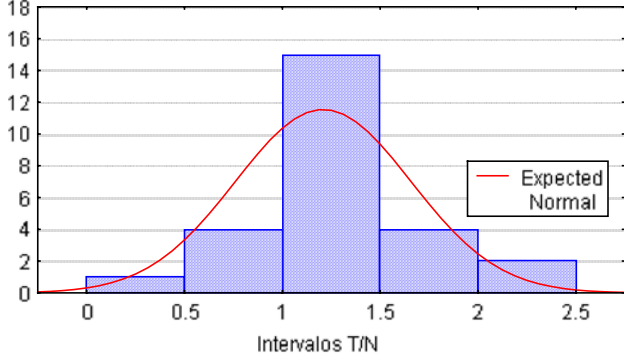
QUADRO 115 - Análise das relações T/N para solos residuais

Solo		Análise Descritiva	
Histograma T/N			
Regressão Linear Passando pela origem e R ²			
Silte arenoso - abaixo nível d'água - Cidades São Paulo, Osasco, Santo André, São Bernardo do Campo - profundidade 5 a 26m		Número de dados	215
		Média	1,89
		Valor Mínimo	0,40
		Valor Máximo	4,00
		Desvio-padrão	0,63
		Coefficiente-de-variação	33,3 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,80 a 1,97
		erro	0,043
		T = 1,42 * N R ² = 0,85	
Silte arenoso - abaixo nível d'água - Cidades São Paulo - profundidade 5 a 26m		Número de dados	113
		Média	1,68
		Valor Mínimo	0,40
		Valor Máximo	4,00
		Desvio-padrão	0,58
		Coefficiente-de-variação	34,5 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,57 a 1,79
		erro	0,055
		T = 1,38 * N R ² = 0,89	
Silte arenoso - acima nível d'água - Cidades São Paulo, Osasco, Santo André, São Bernardo do Campo - profundidade 1 a 22m		Número de dados	179
		Média	1,56
		Valor Mínimo	0,67
		Valor Máximo	3,00
		Desvio-padrão	0,42
		Coefficiente-de-variação	26,9 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,50 a 1,62
		erro	0,031
		T = 1,26 * N R ² = 0,93	

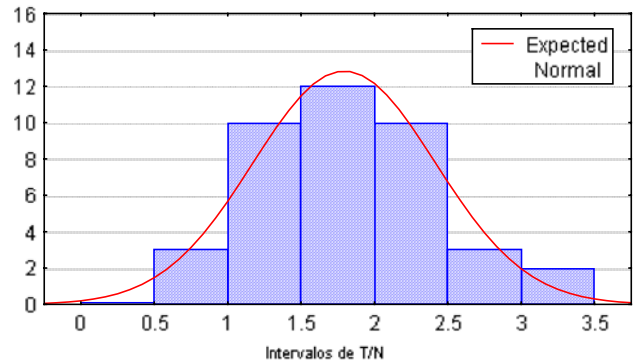
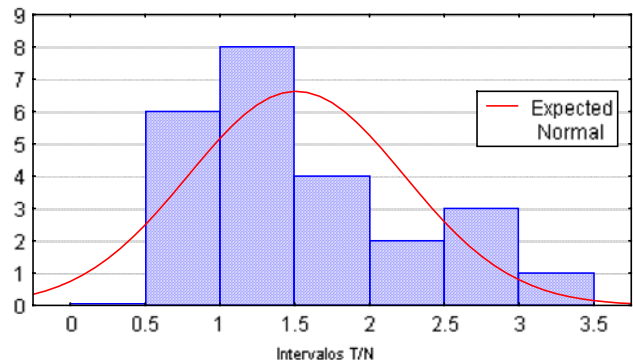
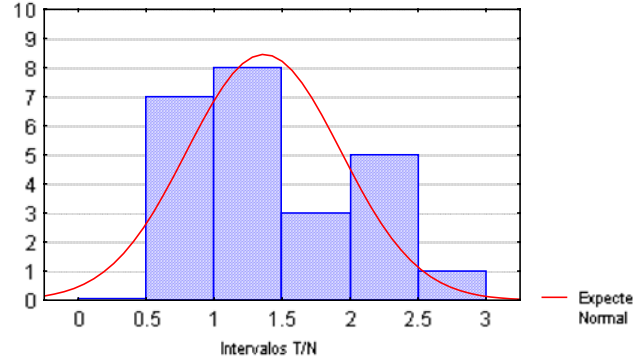
QUADRO 116 - Análise das relações T/N para solos residuais

Solo		Análise Descritiva	
Histograma T/N			
Regressão Linear Passando pela origem e R ²			
Silte arenoso - acima nível d'água - Cidades São Paulo - profundidade 1 a 22m		Número de dados	155
		Média	1,50
		Valor Mínimo	0,67
		Valor Máximo	3,00
		Desvio-padrão	0,39
		Coefficiente-de-variação	26,0 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,44 a 1,56
		erro	0,32
		T = 1,23 * N R2 = 0,94	
Silte areno-argiloso - abaixo nível d'água - Cidade São Paulo - profundidade 2 a 30m		Número de dados	252
		Média	1,68
		Valor Mínimo	0,46
		Valor Máximo	3,67
		Desvio-padrão	0,63
		Coefficiente-de-variação	37,5 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,60 a 1,76
		erro	0,040
		T = 1,32 * N R2 = 0,90	
Silte areno-argiloso - abaixo nível d'água - Cidade Guarujá - profundidade 17 a 30m		Número de dados	38
		Média	2,27
		Valor Mínimo	0,67
		Valor Máximo	6,67
		Desvio-padrão	1,55
		Coefficiente-de-variação	68,3 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,77 a 2,78
		erro	0,25
		T = 1,40 * N R ² = 0,86	

QUADRO 117 - Análise das relações T/N para solos residuais

Solo		Análise Descritiva	
Histograma T/N			
Regressão Linear Passando pela origem e R ²			
Silte areno-argiloso - abaixo nível d'água - Cidade Ubatuba - profundidade 18 a 29m		Número de dados	39
		Média	1,54
		Valor Mínimo	1,07
		Valor Máximo	3,87
		Desvio-padrão	0,59
		Coeficiente-de-variação	38,3 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,35 a 1,73
		erro	0,093
T = 1,35 * N R ² = 0,94			
Silte areno-argiloso - acima nível d'água - Cidade São Paulo - profundidade 1 a 17m		Número de dados	190
		Média	1,59
		Valor Mínimo	0,46
		Valor Máximo	3,46
		Desvio-padrão	0,24
		Coeficiente-de-variação	30,8 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,52 a 1,66
		erro	0,036
T = 0,95 * N R ² = 0,77			
Silte areno-argiloso - acima nível d'água - Cidade São Sebastião - profundidade 1 a 10m		Número de dados	26
		Média	1,21
		Valor Mínimo	0,33
		Valor Máximo	2,39
		Desvio-padrão	0,45
		Coeficiente-de-variação	37,2 (%)
		Intervalo-de-confiança	1,03 a 1,39
		erro	0,088
T = 0,75 * N R ² = 0,82			

QUADRO 118 - Análise das relações T/N para solos residuais

Solo		Análise Descritiva	
Histograma T/N			
Regressão Linear Passando pela origem e R ²			
Areia siltosa - abaixo nível d'água - Cidades São Paulo, Diadema, Santo André, São Bernardo do Campo - profundidade 5 a 17m		Número de dados Média Valor Mínimo Valor Máximo Desvio-padrão Coeficiente-de-variação Intervalo-de-confiança erro	40 1,79 0,73 3,33 0,62 34,6 (%) 1,60 a 1,99 0,098
			
T = 1,32 * N R ² = 0,90			
Areia siltosa - abaixo nível d'água - Cidade Guarujá - profundidade 20 a 49m			
		Número de dados Média Valor Mínimo Valor Máximo Desvio-padrão Coeficiente-de-variação Intervalo-de-confiança erro	24 1,51 0,52 3,08 0,72 47,7 (%) 1,20 a 1,81 0,15
T = 1,25 * N R ² = 0,80			
Areia siltosa - acima nível d'água - Cidades São Paulo, Santo André, São Bernardo do Campo - profundidade 1 a 10m			
			
T = 1,06 * N R ² = 0,86		Número de dados Média Valor Mínimo Valor Máximo Desvio-padrão Coeficiente-de-variação Intervalo-de-confiança erro	24 1,37 0,50 0,70 0,57 41,6 (%) 1,13 a 1,60 0,116

7.2 – ANÁLISES DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NESTA PESQUISA

Neste item estão apresentadas as relações T/N para os resultados dos ensaios realizados no decorrer desta pesquisa com o torquímetro analógico.

A quantidade de dados é bem menor, não se justificando a construção de histograma, como no item anterior. Aqui, para cada Campo Experimental, foi construído um Quadro da relação T/N , em função da profundidade, e os resultados são analisados em função dos dados de laboratório e campo do Capítulo 5, Campos Experimentais e Resultados de *SPT-T*.

7.2.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp – Campinas (SP)

O solo do Campo Experimental da Feagri-Unicamp é formado basicamente por uma camada de 6,0m de espessura de argila porosa, silto arenosa, e abaixo, por uma camada de silte argilo-arenoso, residual de Diabásio. No Quadro 9, do Capítulo 5, pode-se verificar que a primeira camada é, predominantemente, argilosa e na segunda camada, embora haja um pouco mais de silte, as porcentagens das três frações são praticamente iguais. Quando considerada Atividade Coloidal, A_c , o perfil é inativo até 10,0m e abaixo disso, a atividade é normal.

Os resultados da relação T/N estão no Quadro 119. As últimas linhas correspondem às médias de $\bar{T}/N$, considerando-se a classificação dos perfis apresentados na Figura 26.

QUADRO 119 - Valores T/N para a Feagri - Unicamp

Prof. (m)	$T1/N1$	$T2/N2$	$T3/N3$	$T4/N4$	$T5/N5$	$T6/N6$	$\bar{T}/N$	sd	cv (%)
1	0,20	0,53	0,90	0,93	0,77	0,97	0,72	0,30	41,8
2	0,41	1,00	0,52	0,52	0,55	0,81	0,64	0,22	35,1
3	0,32	0,62	0,57	1,06	0,79	0,71	0,68	0,25	36,3
4	0,25	1,03	0,52	0,83	0,60	0,50	0,62	0,27	44,0
5	0,30	0,93	0,82	1,20	0,74	0,77	0,79	0,29	37,0
6	0,26	0,72	1,04	0,72		0,67	0,68	0,28	40,8
7	0,34	0,66	1,50	1,00		0,76	0,85	0,43	50,8
8	0,54	0,99	1,03	1,14		1,19	0,98	0,26	26,4
9	0,83	0,88	1,71	1,19		1,38	1,20	0,36	30,4
10	1,00	1,14	1,43	1,42		1,57	1,31	0,23	17,8
11	0,87	1,04	1,20	1,68		1,72	1,30	0,38	29,3
12	1,08	1,09	1,26	1,63		1,75	1,36	0,31	22,8
13	1,03	1,23	1,54	1,87		1,90	1,51	0,38	25,4
14	0,90	1,22	1,83	1,71		1,11	1,35	0,40	29,5
15	1,67	1,40	2,18	1,83		1,82	1,78	0,28	15,9
16	1,53	1,60	2,07	1,70			1,73	0,24	13,9
17	1,14	1,39	1,67	1,56			1,44	0,23	16,0
18	1,33	1,30	1,40	0,93			1,24	0,21	17,0
19	1,10	1,43	1,54	1,09			1,29	0,23	17,8
20	1,07	0,84		1,35			1,09	0,26	23,5
21	0,94	2,14							
22		0,87							
23		1,26							
24		1,41							
25		1,31							
26		0,96							
27		1,36							
Médias em função da classificação táctil visual dos perfis de sondagem	aterro						0,58	0,30	52,4
	argila arenosa, porosa						0,69	0,25	36,6
	areia argilosa, pouco siltosa, solo residual						0,83	0,18	22,4
	argila arenosa, pouco siltosa, solo residual						0,83	0,38	45,8
	silte areno-argiloso, solo residual						1,35	0,33	24,8
	silte areno-argiloso, solo residual, abaixo nível d'água						1,38	0,35	25,4

Observando-se o Quadro 119, percebe-se claramente que existe uma primeira camada, cujo T/N é menor que um, e, abaixo disso, os valores ficam maiores que um. O limite entre esses dois valores ocorre entre 7 e 8 metros, onde o solo passa de argiloso para siltoso.

Nessa profundidade, o valor de OCR , (*apud* Giacheti, 1991) também se modifica, passando de uma média em torno de quatro para o próximo de valor um.

Na segunda camada (solo residual), o T/N tende a valores maiores que um e também aumenta numa proporção menor que FR ($=f_s/q_c$), uma vez que o CPT é um ensaio estático, conservando melhor a estrutura do solo. Verifica-se que a razão de atrito, FR , também muda nesse intervalo, como pode ser observado na Figura 164.

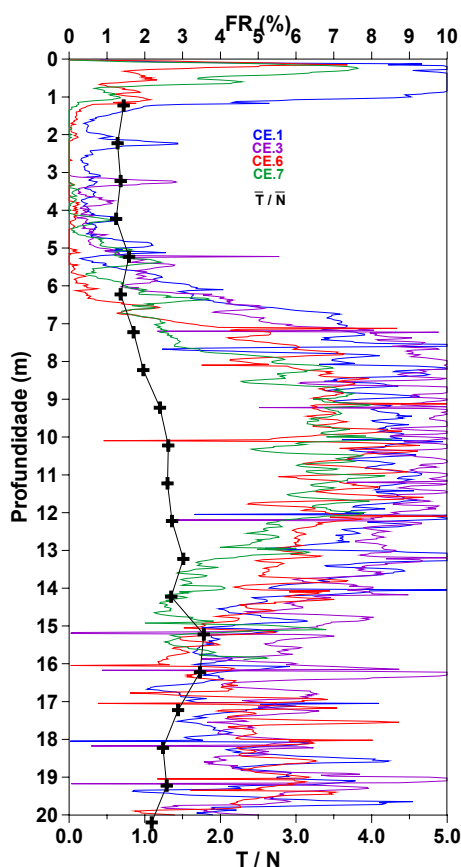


FIGURA 164 - Relação $\bar{T}/N$ versus Razão de Atrito, FR - Feagri – Unicamp

7.2.2 – Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)

O perfil do sub-solo do Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras, UFLA, é composto basicamente por duas camadas: silte argiloso , com atividade normal e inativa até 4,0m e, abaixo, até 10,0m, silte arenoso e ativo. No Quadro 120 estão os resultados T/N .

QUADRO 120 - Valores T/N para a UFLA

Profundidade (m)	T1/ N1	T2/ N2	T̄/ N̄	média	sd	cv
1	1,62	0,32	0,97	Silte argiloso		
2	2,00	1,52	1,76	1,10	0,61	55,47
3	0,53	1,33	0,93			
4	0,56	0,88	0,72			
5	0,97	1,09	1,03			
6	1,31	1,30	1,31	Silte muito arenoso, solo residual		
7	1,73	1,54	1,64	1,23	0,25	20,44
8	1,52	1,82	1,67			
9	2,04	1,37	1,71			
10	2,74	2,53	2,64			
11	2,10	2,22	2,16	Silte argiloso, solo residual		
12	1,65	2,39	2,02	1,91	0,37	19,54
13	1,44	1,76	1,60			
14	1,93	1,97	1,95			
15	1,66	1,83	1,75			
16	2,00	2,23	2,12			
17	2,19	1,92	2,06			

A primeira camada é colapsível e a média dos valores T/N apresenta um coeficiente-de-variação 55,47%. Para os solos siltosos residuais, essa variabilidade diminui (cv=20,44% e cv=19,54%).

7.2.3 – Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos – USP – (SP)

O Campo Experimental da EESC (USP) é basicamente arenoso, com aproximadamente 23% de argila e 12% de silte, com atividade coloidal muito baixa até 5,0m, e, a partir daí, começa a aumentar até ficar normal a 9,0m. Na primeira camada a relação T/N possui uma média de 1,8, diminuindo para 1,5 na segunda camada (Quadro 121).

QUADRO 121 - Valores T/N para a EESC - USP

Profund. (m)	$T1/N1$	$T2/N2$	$T3/N3$	$T4/N4$	$T5/N5$	$\bar{T}/N$	sd	cv (%)
1	1,68	0,89	0,68	1,45	1,29	1,20	0,41	34,22
2	3,55	2,06	1,39	3,19	2,17	2,47	0,88	35,70
3	2,85	1,96	2,35	1,84	1,11	2,02	0,64	31,86
4	2,30	1,00	1,73	2,09	1,49	1,72	0,51	29,68
5	2,10	0,73	1,95	3,50	2,17	2,09	0,98	47,06
6	1,10	1,56	1,55	1,73	1,32	1,45	0,25	16,97
7	1,85	1,33	0,68	1,46	1,77	1,42	0,46	32,83
8	1,82	1,50	1,57	1,21	1,50	1,52	0,22	14,22
9	1,39	1,33	1,60	1,50	1,45	1,45	0,11	7,23
10	1,10	1,31	1,57	1,44	1,29	1,34	0,18	13,38
11	1,61	1,39	1,96		1,66	1,65	0,24	14,23
12	1,60	1,52	1,35		1,42	1,47	0,11	7,64
13	1,52	1,08	1,89		1,92	1,60	0,39	24,40
14	2,08	1,62	1,62		1,64	1,74	0,23	13,12
15	1,78	1,64	1,90		1,64	1,74	0,13	7,33
16	1,88				2,09			
17	1,93				2,72			
18	2,50				-			
19					2,23			
20					2,50			
21					2,19			
22					2,66			
23					1,26			
Médias em função da classificação táctil visual dos perfis de sondagem	areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa					1,86	0,73	39,5
	areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa, abaixo linha-de-seixos e abaixo d'água					1,62	0,25	15,3
	areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo linha-de-seixos e abaixo d'água					1,50	0,28	19,0
	areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa, abaixo linha-de-seixos e abaixo d'água					2,12	0,45	21,1

Quando os valores médios são comparados com a razão de atrito, FR ($=fs/qc$), observa-se na Figura 165 que, ao contrário do solo da Feagri-Unicamp, a relação T/N não segue o mesmo comportamento da razão de atrito, isto é, enquanto que na Unicamp, tanto a relação T/N quanto a FR aumentam na segunda camada, aqui isso ocorre apenas com o FR , enquanto que o T/N primeiro diminui para depois permanecer constante independentemente da profundidade.

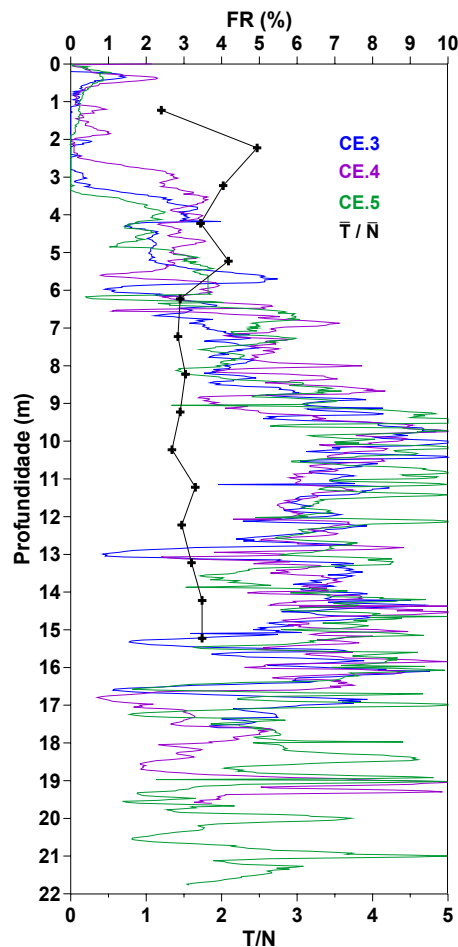


FIGURA 165 - Relação $\bar{T}/\bar{N}$ versus Razão de Atrito, FR - EESC – USP

7.2.4 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia – Unesp – Bauru (SP)

O subsolo do Campo Experimental de Bauru, até a profundidade de 20,0, é predominantemente arenoso, sendo que a porcentagem de argila varia de 15 a 21, exceção entre 17,0 e 18,0, em que a porcentagem fica em torno de 34. Quanto à Atividade Coloidal, a camada é inativa até 11,0m e, abaixo, varia entre inativa e normal. As relações T/N estão apresentadas no Quadro 122.

QUADRO 122 - Valores T/N para a Unesp - Bauru

Profund. (m)	$T1/N1$	$T2/N2$	$T3/N3$	$\bar{T}/N$	sd	cv (%)
0,5	1,84	5,00	1,01	2,62	2,11	80,48
1	0,43	0,75	0,36	0,51	0,21	40,68
2	0,75	0,69	0,66	0,70	0,04	6,28
3	0,67	2,99	0,65	1,43	1,34	93,57
4	1,03	0,44	0,53	0,67	0,32	47,32
5	0,89	1,40	0,98	1,09	0,27	24,84
6	0,77	0,64	0,61	0,67	0,08	12,24
7	0,46	0,55	0,66	0,56	0,10	18,15
8	0,60	1,02	0,63	0,75	0,24	31,46
9	0,67	0,31	0,43	0,47	0,18	38,74
10	0,51	0,64	0,67	0,61	0,08	13,85
11	0,57	0,58	0,57	0,58	0,01	1,19
12	0,82	0,57	0,65	0,68	0,13	18,73
13		1,38	1,58	1,48		
14		2,22	1,85	2,03		
15		2,00	2,27	2,14		
16		2,27				
17		2,42				
18		1,39				
19		2,33				
20		2,00				
Médias em função da classificação táctil visual dos perfis de sondagem	Areia fina e média, argilosa			0,76	0,48	63,8
	Areia fina e média, argilosa			1,99	0,34	1 6,9

Observa-se no Quadro 122 que a camada até doze metros apresenta $\frac{\bar{T}}{N}$ igual a 0,76, e de treze a vinte metros, $\frac{\bar{T}}{N}$ igual a 1,99. Através do Quadro 43 do Capítulo 5, verificou-se que o solo arenoso do Campo Experimental da Unesp-Bauru possui valor médio de N igual a 4,2 até doze metros e, a partir daí, o índice de resistência aumenta passando para uma média de 11,8 até 17 metros. Por outro lado, no Quadro 44 daquele mesmo Capítulo 5, o torque também aumenta na profundidade de 13,0m e numa proporção ainda maior, passando de 2,0 a 5,0kgf.m para 11,0 a 42,0 kgf.m, influenciando na relação T/N . Na Figura 166, percebe-se que esse comportamento tem a mesma tendência da razão de atrito, $FR (=fs/qc)$.

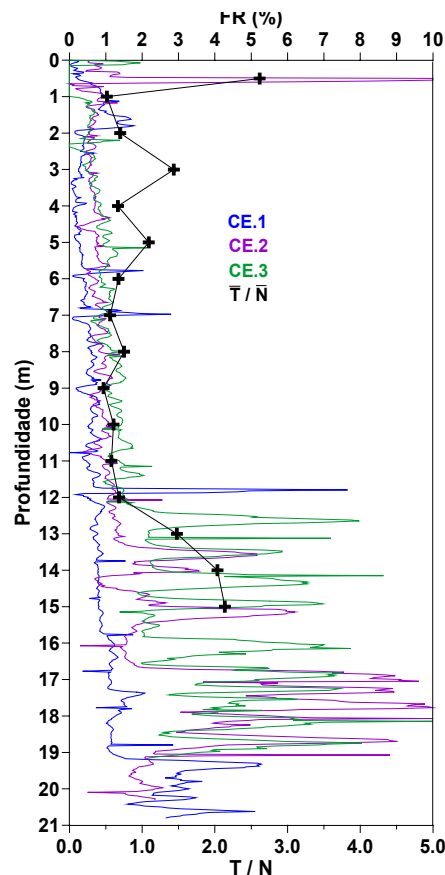


FIGURA 166 - Relação $\frac{\bar{T}}{N}$ versus Razão de Atrito, FR - Unesp – Bauru

7.2.5 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp (SP)

Através dos ensaios de laboratório, sabe-se que o perfil do Campo Experimental de Ilha Solteira é arenoso, com aproximadamente 29% de argila, sendo inativo em toda a sua espessura. A colapsibilidade é verificada até sete metros.

Os resultados das relações T/N estão apresentadas no Quadro 123, no qual pode ser observada a grande variação dos resultados, embora se possa afirmar que, na média, é menor do que um.

QUADRO 123 - Valores T/N para a Unesp – Ilha Solteira

Profund. (m)	$T1/N1$	$T2/N2$	$T3/N3$	$T4/N4$	$\bar{T}/N$	sd	cv (%)
1	0,48	0,97	0,97	1,20	0,91	0,30	33,25
2	0,87	0,47	0,49	0,53	0,59	0,19	32,04
3	0,42	0,83	1,07	0,81	0,78	0,27	34,55
4	1,05	0,83	0,63	0,32	0,71	0,31	43,67
5	0,74	0,97	0,75	1,11	0,89	0,18	20,23
6	0,71	0,85	0,39	0,70	0,66	0,19	29,35
7	0,42	0,98	1,03	0,97	0,85	0,29	33,59
8	0,67	0,84	0,83	0,77	0,78	0,08	9,85
9	0,67	1,15	1,21	1,14	1,04	0,25	24,26
10	0,80	0,67	1,56	0,82	0,96	0,40	41,92
11	0,44	1,11	1,13	1,13	0,95	0,34	35,60
12	1,14	0,71	1,05	0,67	0,89	0,24	26,61
13	0,72	1,33	1,04		1,03	0,31	29,62
14	0,65	0,67	0,57		0,63	0,05	8,15
15	0,23	1,38	1,22		0,95	0,62	66,03
16		0,79	0,94				
Médias em função da classificação táctil visual dos perfis de sondagem	Areia fina e média, argilosa				0,75	0,24	31,6
	Areia fina e méd., argilosa, pouco siltosa				0,66	0,28	42,2
	Areia fina e média, argilosa				0,87	0,25	28,3
	Areia fina e méd., argilosa, pouco siltosa				0,95	0,35	37,3

Este solo apresenta uma peculiaridade comprovada pelas provas-de-carga realizadas em estacas pré-moldadas por Menezes (1997) as quais, quando submetidos à carregamento dinâmico, perdem a resistência lateral, muito provavelmente devido à suscetibilidade do solo à vibração. Fato esse novamente comprovado em Carvalho *et al* (2000) através dos resultados apresentados de *CPT* mecânico (ensaio considerado estático), nos quais resultados, a relação entre o atrito lateral apresentado nesse ensaio e o atrito lateral da estaca Pré-Moldada de Menezes (1997) apresentou valores muito superiores aos da relação entre o fT e o mesmo atrito lateral da estaca.

7.2.6 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP – São Paulo (SP)

O subsolo desse Campo Experimental é predominantemente saprolítico e silteoso. O índice de resistência do *SPT* é mais alto do que nos outros Campos Experimentais, variando de 9 a 32 golpes, em função da profundidade.

Os resultados das relações T/N são apresentados no Quadro 124, onde se observam os solos silteosos com valores maiores do que um, corroborando os resultados da UFLA e da Unicamp.

QUADRO 124 - Valores T/N para a Politécnica - USP

Prof. (m)	$T1/N1$	$T2/N2$	$T3/N3$	$T4/N4$	$T5/N5$	$T6/N6$	$\bar{T}/\bar{N}$	sd	cv (%)
1	2,33	1,94	1,88	1,57	1,99	1,98	1,95	0,24	12,52
2	1,89	2,00	1,93	3,43	2,43	2,05	2,29	0,59	25,85
3		2,11	1,30	1,65	1,72	1,42	1,64	0,31	19,19
4	1,40	1,88	2,00	1,92	1,47	1,50	1,69	0,26	15,61
5		2,14	2,21	1,43	1,78	1,52	1,82	0,35	19,45
6	2,15	2,53	1,58	1,68	1,79	0,83	1,76	0,57	32,65
7	1,92	1,40	2,10	1,55	1,68	1,85	1,75	0,26	14,69
8	1,40	2,08	1,77	1,40	1,84	1,52	1,67	0,28	16,50
9		1,66	1,23	1,50	1,71	2,00	1,62	0,28	17,44
10		3,26	1,57		1,17	1,91	1,98	0,91	45,87
11					1,35				
Médias em função da classificação tátil visual dos perfis de sondagem	silte muito arenoso, com pouca mica, solo residual						1,95	0,30	15,5
	silte muito arenoso, pouco argiloso, pouca mica, solo residual						1,75	0,50	28,8

7.2.7 – Baixada Santista – Vicente de Carvalho – Guarujá (SP)

No local, o subsolo é composto de argila mole, orgânica, até 14 m, e desta profundidade até 20,51m, de argila siltosa, orgânica, com areia fina. Os resultados da relação T/N estão apresentados no Quadro 125, no qual se observa que os valores se apresentam sempre acima de três.

QUADRO 125 - Valores T/N para a Baixada Santista

Prof. (m)	$T1/N1$
1	-
2	-
3	-
4	-
5	-
6	-
7	-
8	-
9	-
10	8,20
11	6,00
12	-
13	7,46
14	6,57
15	-
16	-
17	4,75
18	3,74
19	3,67
20	3,60

7.3 – ANÁLISES GERAIS DA RELAÇÃO T/N

Para tornar mais clara a visualização das análises, apresentam-se, no Quadro 126, os resultados de todas as análises, separadas em Sedimentos Marinhos, Solos Colapsíveis, Solos Residuais, além das relações propostas por Decourt (1998).

QUADRO 126 - Resumo das relações T/N

Tipo de Solo	Nº Dados	$\bar{T}/\bar{N}$	sd	cv (%)
Sedimentos Marinhos				
Argilas Moles de Santos <i>apud</i> Decourt (1998)	-	3,0 a 4,0	-	-
Argila siltosa, Guarujá*	58	1,23	0,55	44,7
Argila siltosa, Guarujá (considerando apenas N < 4)*	43	1,53	0,64	41,8
Argila silto-arenosa, Guarujá, Rio de Janeiro, Ubatuba, Paranaguá*	92	1,60	1,02	63,8
Argila silto-arenosa, Guarujá, Rio de Janeiro, Ubatuba, Paranaguá (N<4) *	57	1,77	1,23	69,5
Argila silto-arenosa, Guarujá *	54	1,32	0,66	50,0
Argila silto-arenosa, Guarujá (N<4)*	40	1,37	0,75	54,7
Argila mole **	4	7,06	0,97	13,75
Argila silto-arenosa **	4	3,94	0,54	13,78
Solos Colapsíveis				
Argilas porosas colapsíveis <i>apud</i> Decourt (1998)	-	2,5 a 5,0	-	-
Argila silto-arenosa, porosa, São Paulo, profundidade ≤ 6,0m*	149	2,18	0,92	42,2
Argila arenosa, Campinas (Unicamp), profundidade ≤ 6,0m*	12	0,69	0,27	39,1
Argila silto-arenosa, Londrina (UEL), profundidade ≤ 6,0m*	29	0,53	0,43	81,1
Areia argilosa, Ilha Solteira (Unesp), profundidade ≤ 6,0m*	30	0,67	0,33	49,3
Areia argilosa, Bauru (Unesp), profundidade ≤ 6,0m*	18	0,75	0,20	26,7
Areia argilosa, São Carlos (USP), profundidade ≤ 6,0m*	13	1,73	0,85	49,1
Argila arenosa, porosa, Campinas (Unicamp) **	27	0,69	0,25	36,6
Silte argiloso, Lavras (UFLA) **	8	1,10	0,61	55,5
Areia fina e média, argilosa, Ilha Solteira (Unesp) **	18	0,75	0,24	31,6
Areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, Ilha Solteira (Unesp) **	6	0,75	0,24	31,6
Areia fina e média, argilosa, Bauru (Unesp) **	35	0,76	0,48	63,8
Areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa, São Carlos (USP) **	29	1,86	0,73	39,5
Solos Residuais				
Solo Saprolítico de São Paulo <i>apud</i> Decourt (1998)	-	2,0	-	-
Acima Nível d'Água				
Silte argilo-arenoso, São Paulo*	29	1,37	0,30	21,9
Silte argilo-arenoso, Campinas (Unicamp)*	27	1,52	0,48	31,6
Silte argilo-arenoso, São Sebastião*	16	1,18	0,31	26,3
Silte arenoso, São Paulo, Osasco, Santo André, São Bernardo do Campo*	179	1,56	0,42	26,9
Silte arenoso, São Paulo*	155	1,50	0,39	26,0
Silte areno-argiloso, São Paulo*	190	1,59	0,24	30,8
Silte areno-argiloso, São Sebastião*	26	1,21	0,45	37,2
Silte areno-argiloso, Campinas (Unicamp) **	34	1,35	0,33	24,8
Silte argiloso, Lavras (UFLA) **	21	1,91	0,37	19,54
Areia fina e média, argilosa, Bauru (Unesp) **	9	1,99	0,34	16,9
Silte muito arenoso, pouca mica, São Paulo (USP) **	14	1,95	0,30	15,5
Silte muito arenoso, pouco argiloso, pouca mica, São Paulo (USP) **	35	1,75	0,50	28,8
Abaixo Nível d'Água				
Silte areno-argiloso, São Paulo*	252	1,68	0,63	37,5
Silte areno-argiloso, Guarujá*	38	2,27	1,55	68,3
Silte areno-argiloso, Ubatuba*	39	1,54	0,59	38,3
Silte arenoso, São Paulo, Osasco, Santo André, São Bernardo do Campo*	215	1,89	0,63	33,3
Silte arenoso, São Paulo*	113	1,68	0,58	34,5
Silte areno-argiloso, Campinas (Unicamp) **	28	1,38	0,35	25,4
Areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, São Carlos (USP) **	30	1,50	0,28	19,0
Areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa, São Carlos (USP) **	9	2,12	0,45	21,1
* análises com os dados obtidos dos acervos das universidades e das empresas executoras				
** análises com os resultados dos ensaios obtidos para esta pesquisa				

7.3.1 – Análise Geral para Sedimentos Marinhos

As relações T/N para argilas marinhas (= 7 para argila mole e 3,94 para argila silto-arenosa), obtidas através dos resultados dos ensaios desta pesquisa, confirmaram, em parte, os valores de Decourt (1998) ($T/N = 3,0$ a $4,0$), mas não concordaram com a pesquisa realizada mediante os resultados coletados junto às empresas (valores variando entre 1,23 e 1,77).

Nas argilas moles, os índices de resistência N são muito baixos, sendo que o amostrador é cravado, muitas vezes, apenas com o peso próprio do conjunto haste-amostrador. Da mesma forma, os valores de torque também podem não atingir a capacidade mínima dos torquímetros. Por exemplo, o torquímetro R-350 da Gedore, que é o mais utilizado na prática, tem uma capacidade mínima de 10m.kgf e máxima de 48m.kgf. Assim, o valor T/N não pode ser utilizado com precisão para identificação de argilas moles.

7.3.2 – Análise Geral para Solos Colapsíveis

Nos solos argilosos colapsíveis, que compõem os Campos Experimentais da Feagri (Unicamp - Campinas) e da Universidade Estadual de Londrina, as relações T/N foram parecidas, e menores do que um, 0,69 e 0,53,

respectivamente. É importante ressaltar que foram realizadas três campanhas de ensaios na Unicamp sendo a primeira série dos ensaios realizada por uma empresa diferente da que realizou as outras duas, e todas as séries forneceram a mesma relação, comprovando, assim, a consistência dos dados.

Estes valores são muito menores que os valores 2,5 a 5,0 apresentados por Decourt (1998). As argilas porosas da Bacia Sedimentar da Cidade de São Paulo foram consideradas colapsíveis apenas pela classificação porosa, visto que se tinham em mãos apenas os resultados das sondagens, e a relação T/N apresentou valores próximos ao sugerido àquele sugerido por Decourt (1998).

A relação T/N para solos colapsíveis apresenta variação mesmo quando os valores são regionalizados. Um exemplo são os solos arenosos dos Campos Experimentais da EESC (USP - São Carlos), da FET (Unesp - Bauru) e da FEIS (Unesp - Ilha Solteira), os quais são geológica e granulometricamente parecidos, exceto que, em Bauru, predomina areia média e em São Carlos e Ilha Solteira, areia fina. Observa-se que na relação T/N para São Carlos, os valores estão próximos de dois, diferentemente de Bauru e Ilha Solteira, onde são menores que um.

O solo da primeira camada da UFLA (Lavras) é classificado como silte argiloso e o valor médio do índice de vazios igual a 1,55. A relação T/N ($= 1,1$) apresentou um coeficiente-de-variação de 55,5%, mostrando que essa média não pode ser considerada representativa desse tipo de solo.

7.3.3 – Análise Geral para Solos Residuais

Como está mostrado no Quadro 126, a maior parte dos solos residuais analisados foram solos siltosos e apenas os solos arenosos residuais de arenito de São Carlos e Bauru foram analisados nessa pesquisa.

Os solos siltosos residuais apresentaram T/N variando entre um e dois, com média ponderada 1,55, com um pequeno aumento para aqueles situados abaixo do nível d'água (média ponderada de $T/N = 1,75$). Mas como o fato deste valor 1,5 também poder ocorrer para outros tipos de solo, há indicação de que a relação deve ser utilizada com muito cuidado.

Por outro lado, considerando-se apenas os dados da região da cidade de São Paulo, obtém-se $T/N=1,55$ para as camadas acima do nível d'água e $T/N=1,76$ para aquelas abaixo do nível d'água. As duas relações estão abaixo do valor proposto por Decourt (1998), $T/N=2,0$.

7.4 – CONCLUSÕES GERAIS

As relações de T/N encontradas não indicam a possibilidade de uma classificação textural ou geológica dos solos através da mesma. No entanto, há indícios de que é possível se ter uma noção do comportamento do solo através da mesma. Por exemplo, todos os valores de T/N menores que 1 corresponderam a

solos colapsíveis ou susceptíveis a vibração, apesar de solos potencialmente colapsíveis terem apresentado valores maiores que um. Também os valores médios de todos os solos residuais analisados ficaram entre 1 e 2, apesar de individualmente se ter valores maiores que 2 e outros tipos de solos também terem apresentado valores neste intervalo. As análises indicam que valores isolados de T/N não devem ser utilizados, devendo-se trabalhar sempre com a média de determinada camada de solo.

Assim, deve-se tomar muito cuidado quando da utilização das relações T/N para caracterização de solos, uma vez constatado que os valores são regionais e mesmo assim, possuem uma grande variabilidade para um mesmo local. Solos aparentemente semelhantes também podem apresentar resultados bastante diferentes como se observa entre o solo de São Carlos e aqueles de Bauru e Ilha Solteira

8. COMPARAÇÕES ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO *SPT-T* E DO *CPT*

Neste capítulo serão apresentados:

- Relações entre o atrito lateral medido no *CPT*, f_s , e o atrito lateral obtido através do *SPT-T*, fT ;
- Relações entre a resistência de ponta medida no *CPT*, q_c , e o índice de resistência obtido através do *SPT-T*, N ;
- Relações entre a razão de atrito obtida do *CPT*, FR (f_s/q_c), e a relação T/N obtida através do *SPT-T*;

Além dos ensaios que foram realizados com o cone elétrico nos Campos Experimentais da Feagri - Unicamp, EESC - USP e Unesp - Bauru, também estão apresentadas as análises realizadas nos Campos Experimentais da Unesp – Ilha Solteira e Escola Politécnica – USP, nos quais, o equipamento utilizado foi o *CPT* mecânico com luva de Begemann.

No ensaio elétrico, as medidas são feitas a cada 2,5cm. Portanto, para efeito de comparação entre os dois ensaios, foram calculados os valores médios para o intervalo de penetração do *SPT-T*, cujos valores já foram apresentados nos Quadros 16, 39 e 49 do Capítulo 5, para os Campos Experimentais da Unicamp, EESC-USP e Unesp-Bauru, respectivamente. Os resultados dos ensaios mecânicos da Unesp-Ilha Solteira e Escola Politécnica-USP estão nos Quadros 59 e 74 daquele mesmo capítulo.

8.1 – ATRITO LATERAL DO SPT-T, f_T , *VERSUS* ATRITO LATERAL DO CONE ELÉTRICO, f_s

Os atritos laterais, f_T , do *SPT-T*, foram obtidos através da equação de Ranzini (1994):

$$f_T = \frac{T}{(41,336h - 0,032)} \quad (35)$$

em que: “ f_T ” em kPa, “ T ” em m.kN e “ h ” em m

Estes valores foram comparados com o f_s do cone, sendo ambas as medidas consideradas estáticas, com a diferença que o torque no *SPT* é medido logo após um carregamento dinâmico para a obtenção de N . Foram considerados tanto os valores obtidos elétrica, como analogicamente, e também os valores máximos e residuais obtidos.

Os resultados fT estão apresentados no Anexo B. As nomenclaturas para cada um estão apresentadas no Quadro 127.

QUADRO 127 - Nomenclaturas de fT para os torques obtidos elétrica e analogicamente

Equipamento	Leitura	Nomenclatura
Elétrico	Máxima	$fTE_{máx}$
	Residual	fTE_{res}
Analógico	Máxima	$fT_{máx}$
	Residual	fT_{res}

8.1.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp – Campinas (SP)

Nas Figuras de 167 a 169 estão apresentadas as análises estatísticas da relação f_s/fT .

A grande dispersão dos resultados observada nos Histogramas da Figura 166 dispensa qualquer outra análise estatística para os solos colapsíveis. Para o solo residual, as dispersões diminuem quando o mesmo está acima do nível d'água, Figura 168, mas não o suficiente para se definir um padrão de comportamento.

No gráfico da Figura 170 estão apresentados os resultados das duas camadas de solo, considerando-se também se a camada está acima ou abaixo do nível d'água. Observa-se um aumento da relação entre os dois valores para os solos de comportamento não-laterítico.

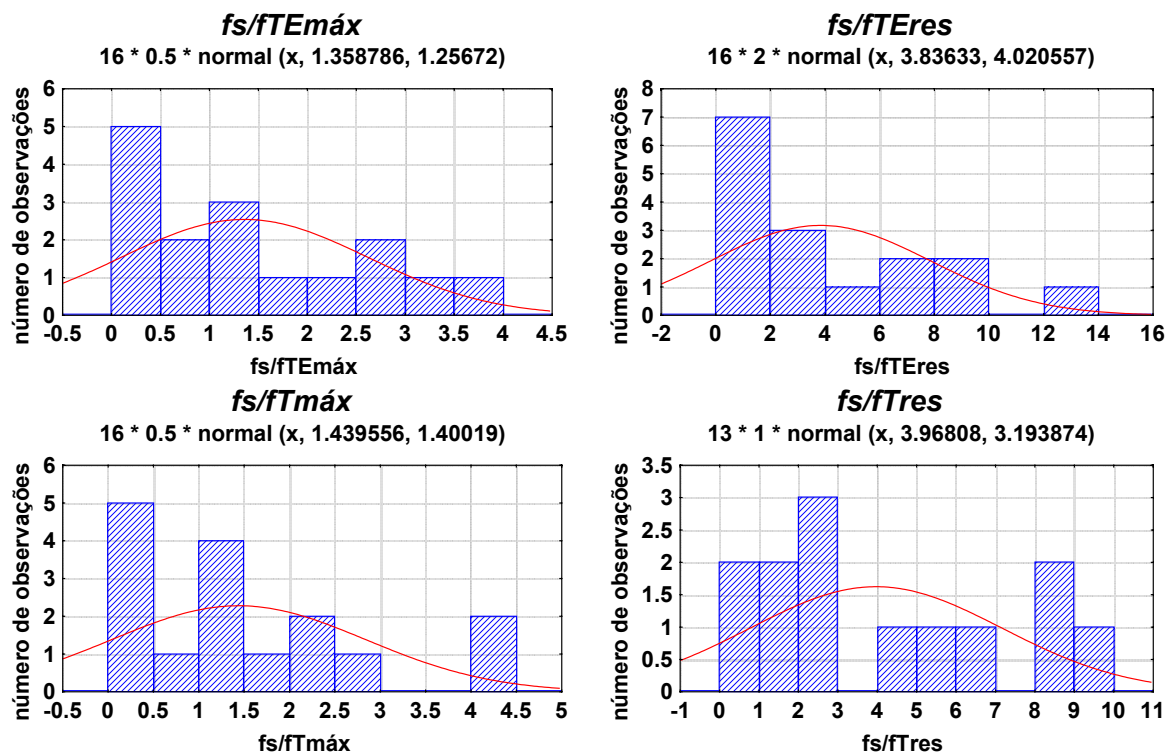


FIGURA 167 - Correlação entre fT e fs - argila arenosa, porosa, colapsível - Feagri - Unicamp

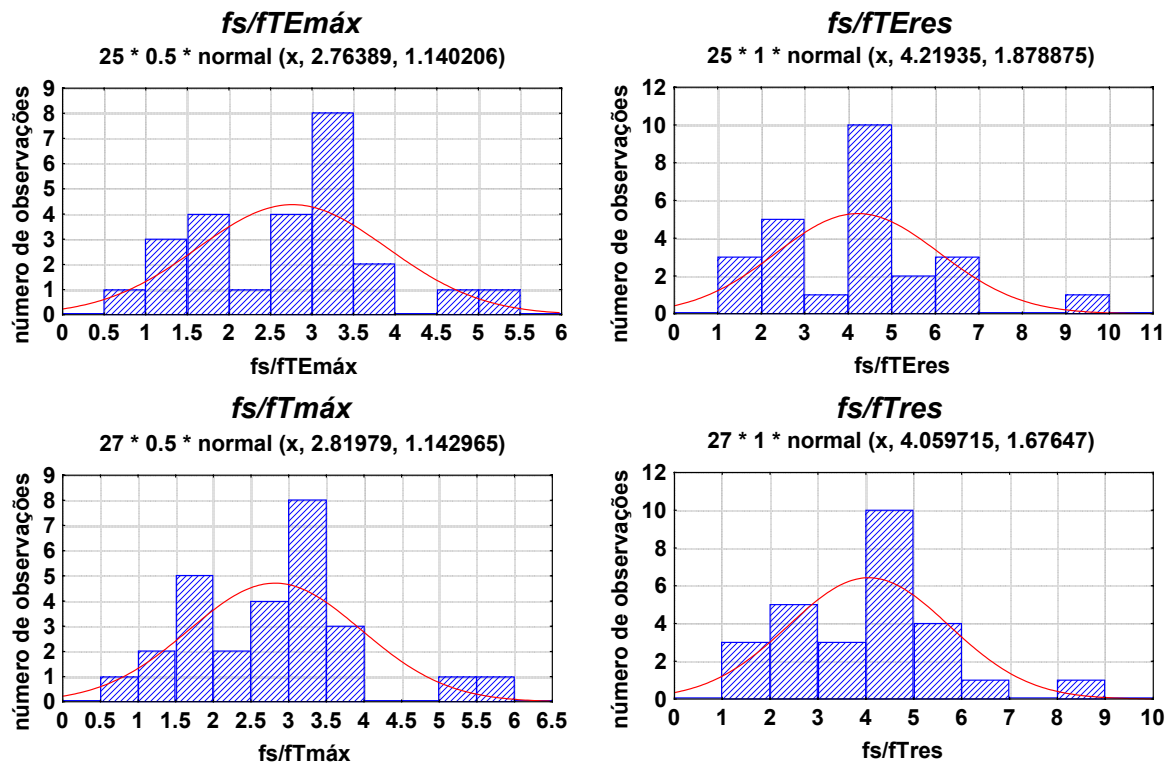


FIGURA 168 - Correlação entre fT e fs - silte areno-argiloso - solo residual e acima do nível d'água - Feagri - Unicamp

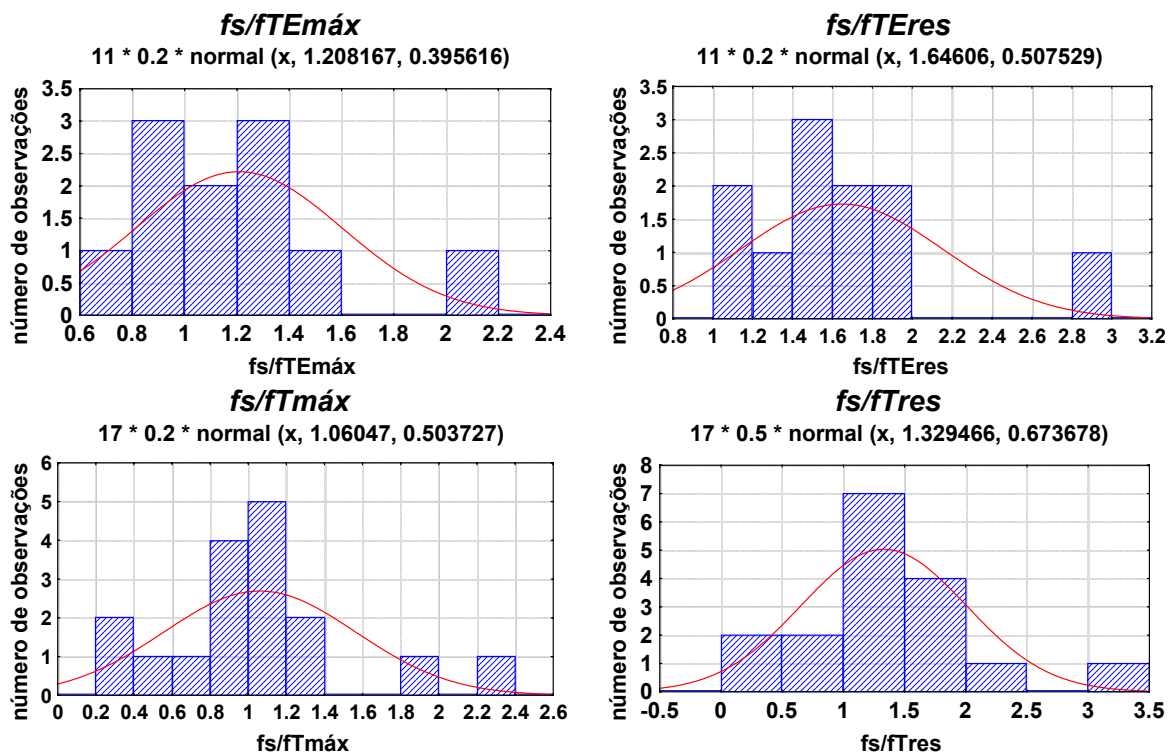


FIGURA 169 - Correlação entre f_T e f_s - silte areno-argiloso Solo residual e abaixo do nível d'água –Feagri - Unicamp

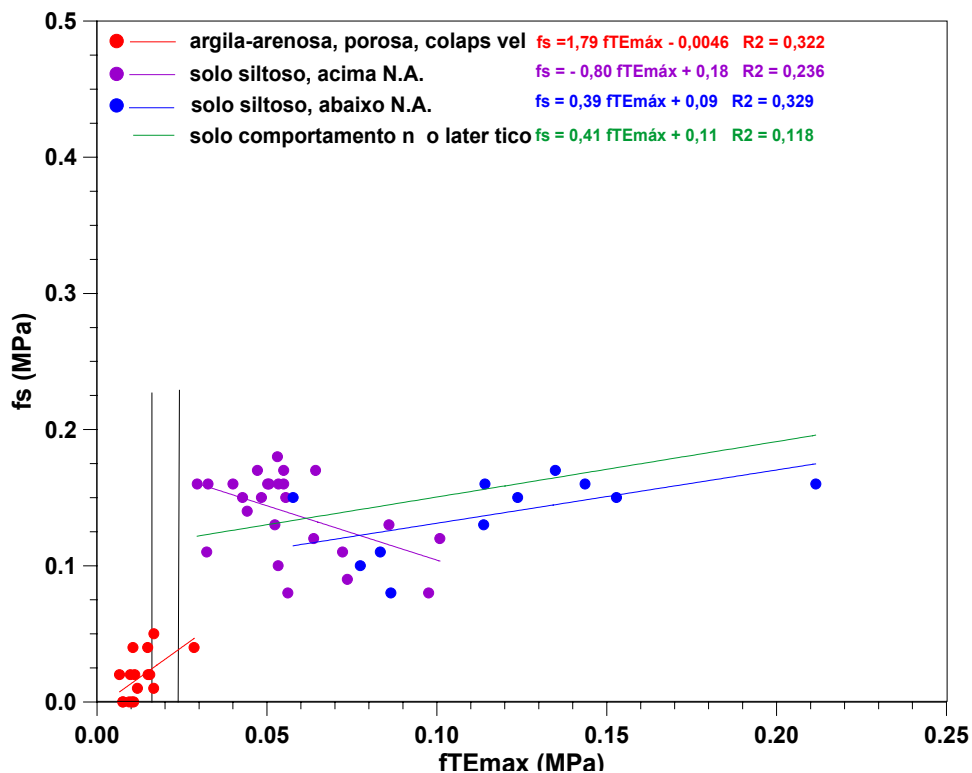


FIGURA 170 - f_s em função de f_T - Feagri – Unicamp

8.1.2 – Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos

USP (SP)

Nas Figuras 171 e 172 estão apresentados os histogramas fs/ft para as duas camadas representativas deste Campo Experimental.

Para estes solos arenosos, os valores das relações fs/ft são muito dispersos, ocorrendo uma melhoria abaixo da linha-de-seixos. Quando os valores são analisados na forma do gráfico da Figura 173, observa-se que nesses solos não existe uma separação entre solos de comportamento laterítico e não-laterítico tão bem definida como na forma do gráfico da Figura 170 para os solos da Unicamp. Comprova-se, então, mais uma vez, a dificuldade em se definir um padrão de comportamento para os solos arenosos.

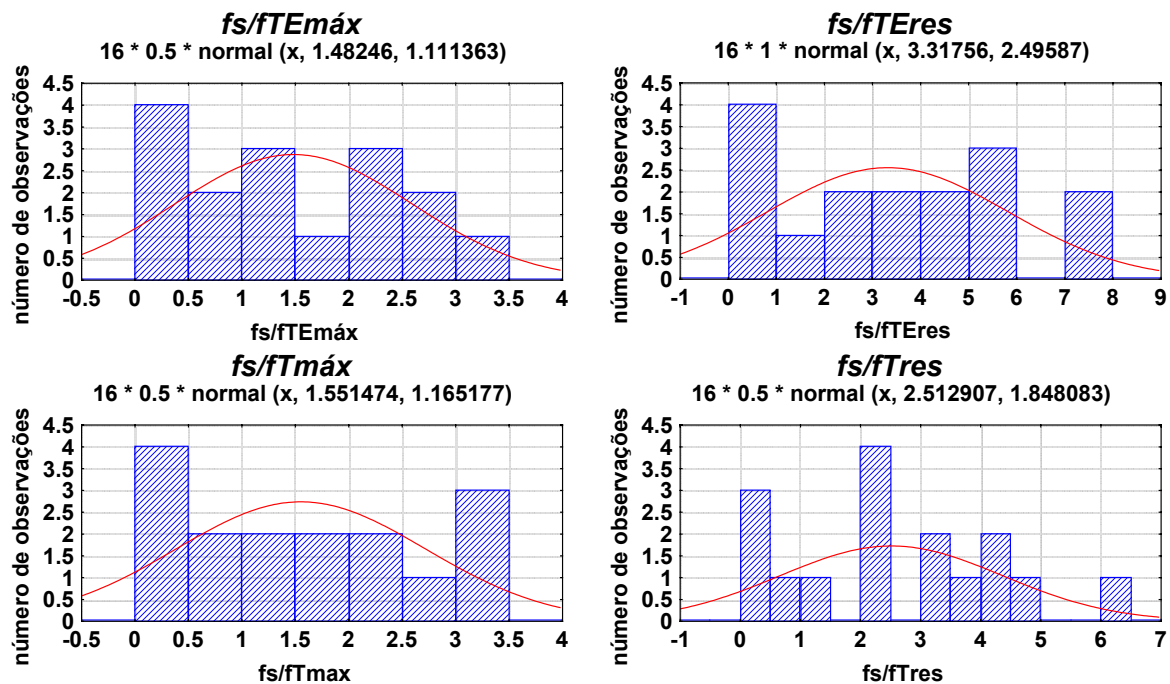


FIGURA 171 - Correlação entre ft e fs - areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa –EESC – USP

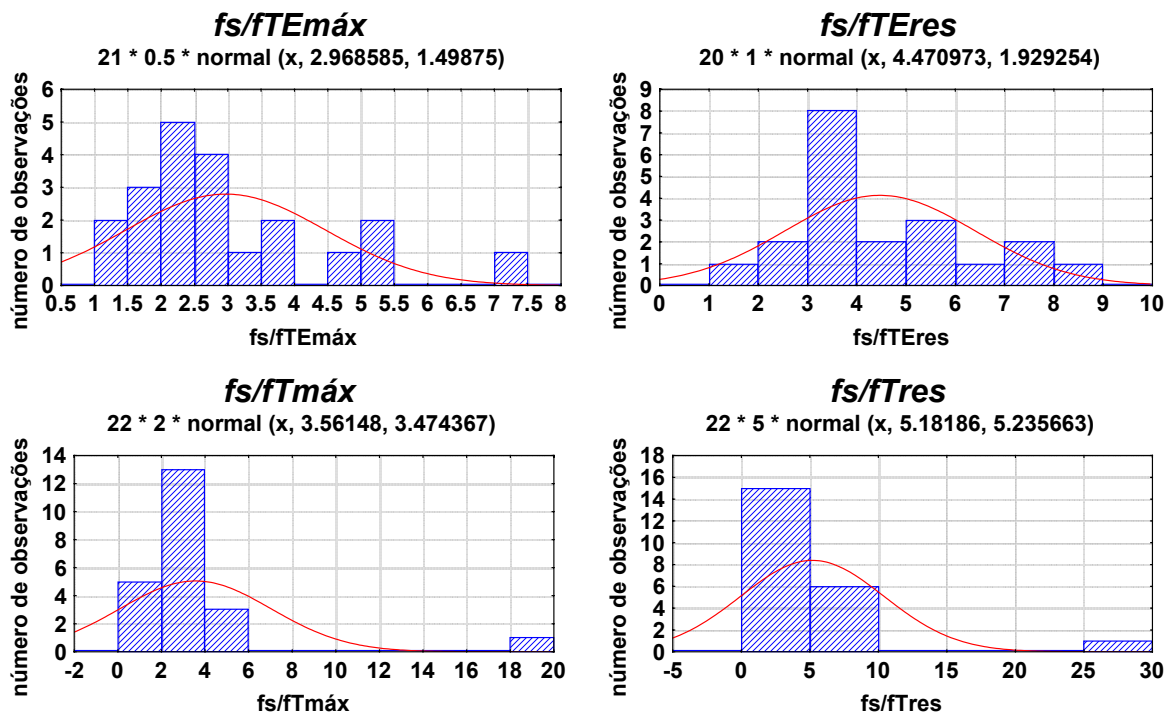


FIGURA 172 - Correlação entre fT e fs - areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos e do nível d'água –EESC - USP

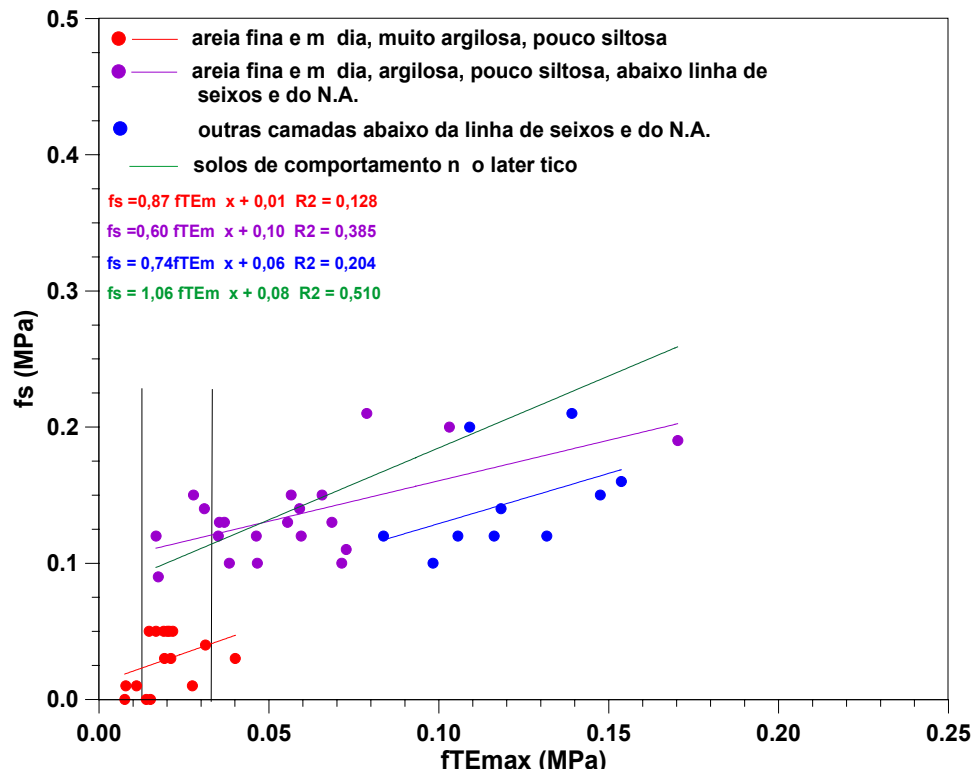


FIGURA 173 - fs em função de fT - EESC – USP

8.1.3 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia – Unesp – Bauru (SP)

Os histogramas para a primeira camada desse Campo Experimental estão apresentados na Figuras 174. A segunda camada não está sendo analisada por ter um número muito pequeno de dados.

Por outro lado, observando-se o gráfico da Figura 175, nota-se novamente a não-existência de um padrão de comportamento para as areias.

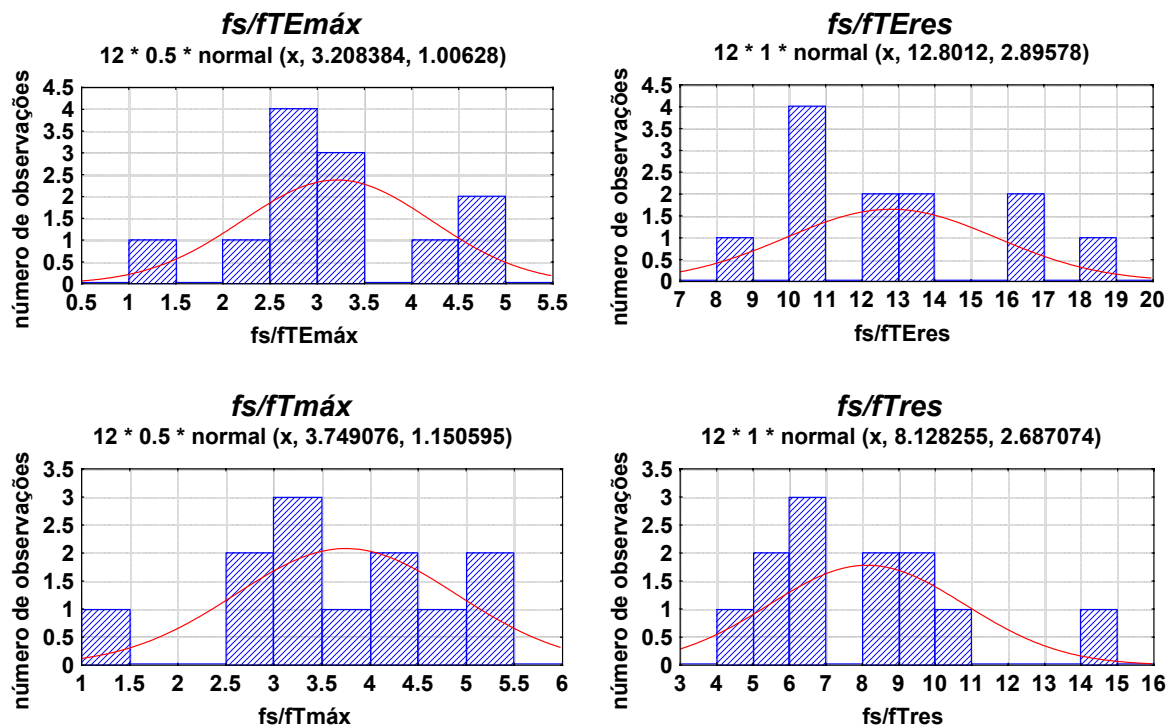


FIGURA 174 - Correlação entre fT e fs - primeira camada de areia fina e média, argilosa - FET – Unesp - Bauru

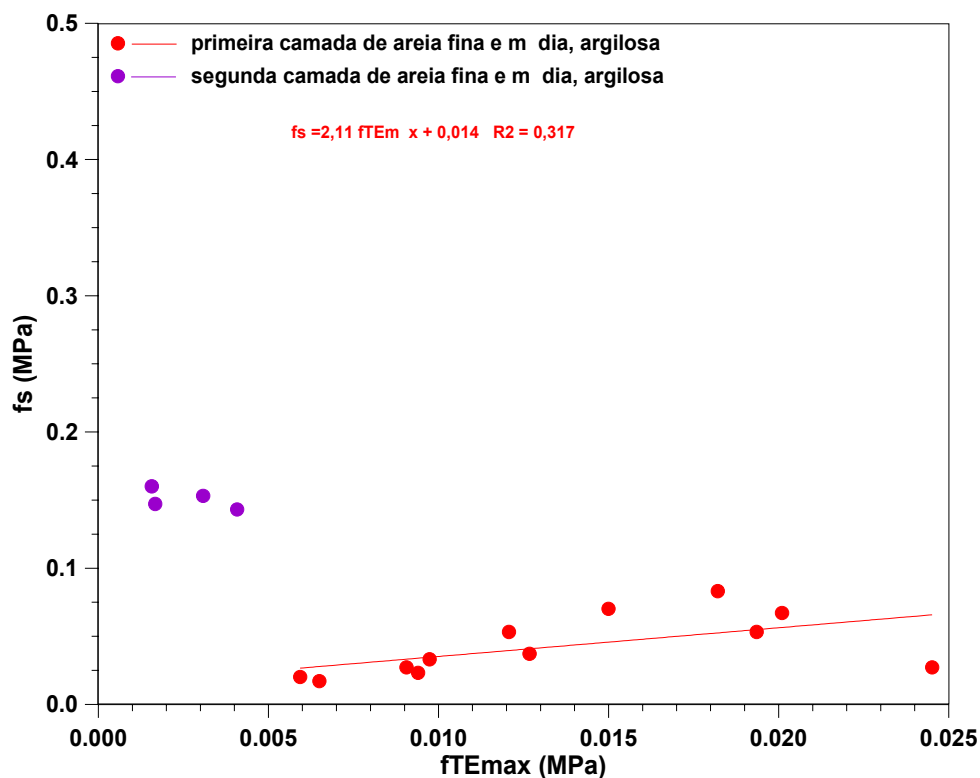


FIGURA 175 - f_s em função de f_T - FET – Unesp - Bauru

8.1.4 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp – Ilha Solteira (SP)

Neste Campo Experimental foram realizados ensaios *CPT* mecânicos, cujos resultados foram apresentados por Menezes (1997) e aqui mostrados no Quadro 59 do Capítulo 5, correspondendo ao valor médio de cada metro.

As relações entre f_s e os quatro valores de f_T estão representadas na Figura 176, na qual os dados correspondem à camada de até 15 metros de areia-argilosa, pouco siltosa. Como pode ser observado na Figura 58, do Capítulo 5, os

furos de *CPT* estão distantes das sondagens realizadas para essa pesquisa. Assim, além de descartar o ensaio D3, os cálculos foram feitos entre as médias de D2, D1 e D5, com as médias de SP3 e SP4, bem como os valores do D4 foram feitos com as médias entre SP1 e SP2.

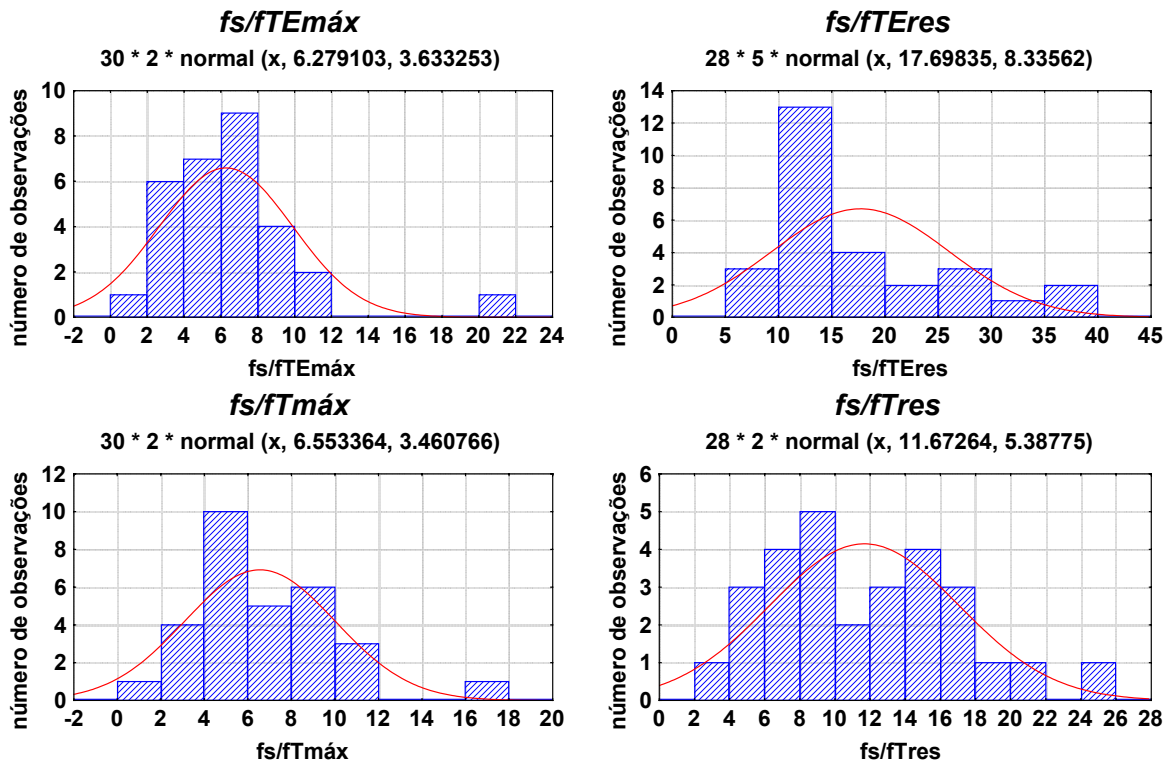


FIGURA 176 - Correlação entre fT e fs - FEIS – Unesp – Ilha Solteira

Na Figura 177, percebe-se que a relação entre o fs e o $fTE_{m\acute{a}x}$ demonstra que o atrito lateral obtido através do *CPT* é bem maior que aquele obtido através do *SPT-T*, comprovando, mais uma vez que, nesses solos, perde-se atrito após vibração.

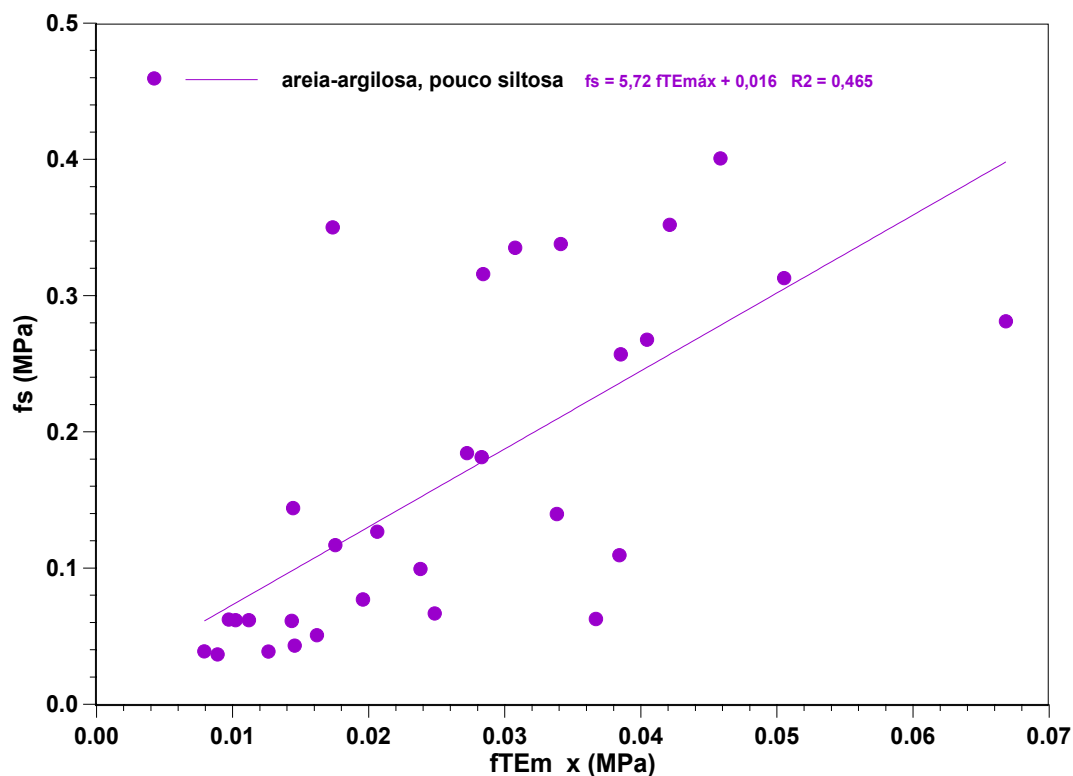


FIGURA 177 - f_s em função de fT - FEIS – Unesp – Ilha Solteira

8.1.5 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP – São Paulo

Para as análises neste Campo Experimental foram utilizados os dados de *CPT* mecânico com luva de Begemann do *PIT I* e *PIT III* apresentados no Quadro 74 do Capítulo 5. Os resultados do *PIT I* foram comparados com a média dos valores de fT , obtidos através dos ensaios SP1, SP2 e SP3 e, os resultados do *PIT III* foram comparados com as médias de fT entre o SP5 e SP6. Os resultados estão apresentados nas Figuras 178 e 179.

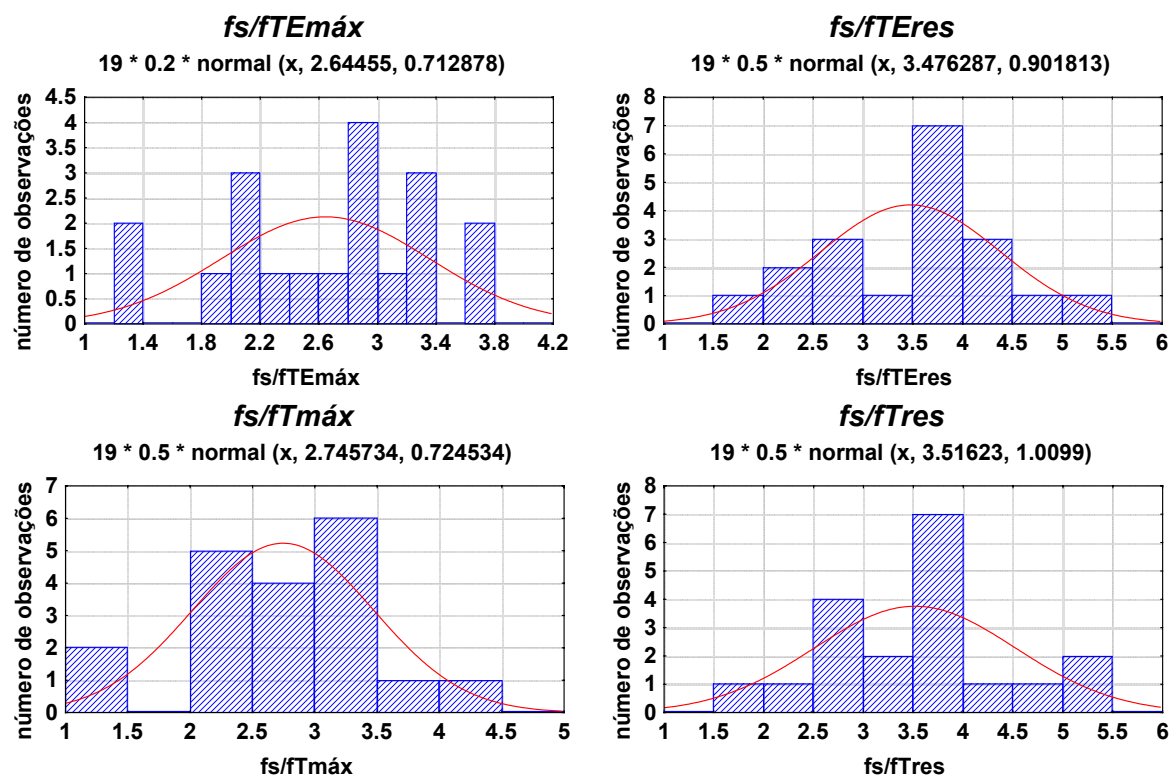


FIGURA 178 - Correlação entre fT e fs - Escola Politécnica - USP

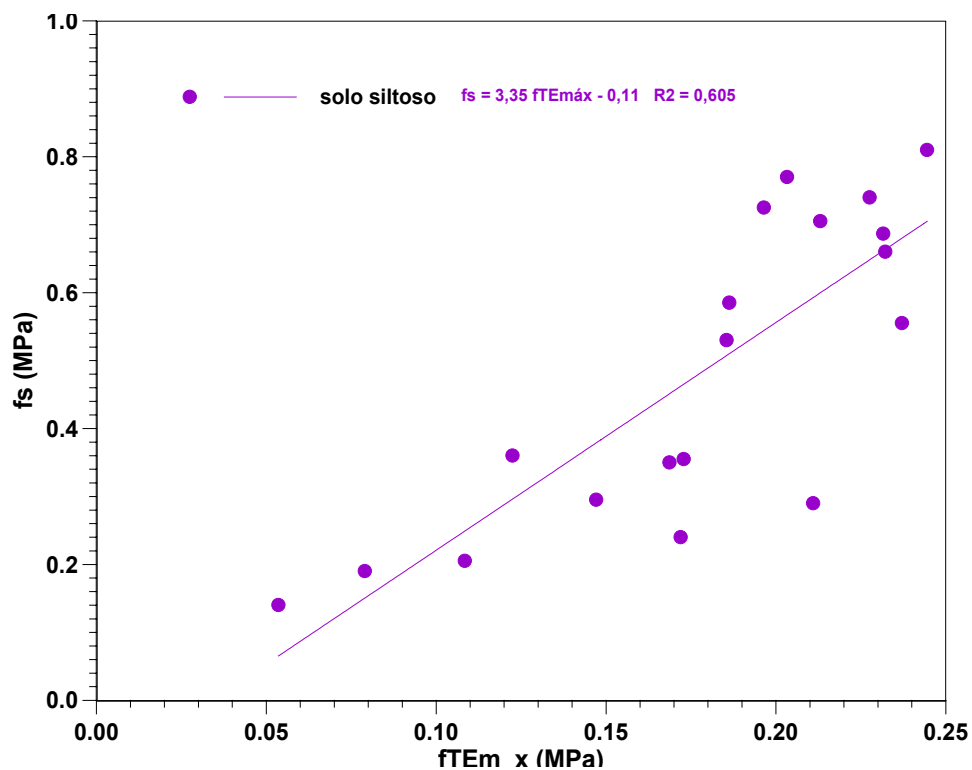


FIGURA 179 - fs em função de fT - Escola Politécnica – USP

8.1.6 – Análises gerais da comparação entre f_s e f_T

No Quadro 128 está apresentado o resumo das médias, e os coeficientes-de-variação calculados nas análises, utilizando-se o $f_{TEmáx}$, que representa a desão-atrito solo-amostrador obtida através da equação de Ranzini (1994) com os resultados de torque máximo medidos através do equipamento elétrico.

Observa-se que a variabilidade é menor para solos residuais, o mesmo ocorrendo quando a relação é realizada com ensaios de *CPT* mecânico.

QUADRO 128 - Quadro resumo de $f_s/f_{TEmáx}$

Solo	$f_s/f_{TEmáx}$	
	Média	Coeficiente-de-variação
<i>Campo Experimental da Feagri - Unicamp</i>		
Argila arenosa, porosa, colapsível	1,36	92,5 %
Silte areno-argiloso, solo residual, acima do nível d'água	2,76	41,3%
Silte areno-argiloso, solo residual, abaixo do nível d'água	1,21	32,7%
<i>Campo Experimental da EESC - USP</i>		
Areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa	1,48	74,9%
Areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos e abaixo do nível d'água	2,97	50,5%
<i>Campo Experimental da Unesp - Bauru</i>		
Areia fina e média, argilosa, camada até 13 metros	3,21	31,4%
<i>Campo Experimental da Unesp – Ilha Solteira</i>		
Areia argilosa, pouco siltosa	6,28	57,9%
<i>Campo Experimental da Escola Politécnica - USP</i>		
Silte arenoso, pouco argiloso, solo residual	2,64	26,9%

8.2 – ÍNDICE DE RESISTÊNCIA , N , *VERSUS* RESISTÊNCIA DE PONTA, q_c

São correlacionados os índices de resistência N com os valores da resistência de ponta q_c médios, calculados para o intervalo de penetração do amostrador do ensaio *SPT* .

8.2.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola Unicamp – Campinas (SP)

Na Figura 180 está apresentada a equação, bem como os resultados estatísticos para a análise dos dados contidos no Capítulo 5.

Nas Figuras 181, 182 e 183 estão apresentadas as análises por tipo de solo: argila arenosa, porosa; silte areno-argiloso (solo residual e acima do nível d'água) e silte areno-argiloso (solo residual e abaixo do nível d'água), respectivamente.

Para este Campo Experimental, percebe-se que o solo colapsível apresenta uma grande variabilidade na comparação entre a medida estática q_c , e a dinâmica N . Com relação ao solo de alteração de rocha, essa variabilidade é bem pequena, quando acima do nível d'água, voltando a ser alta abaixo do mesmo.

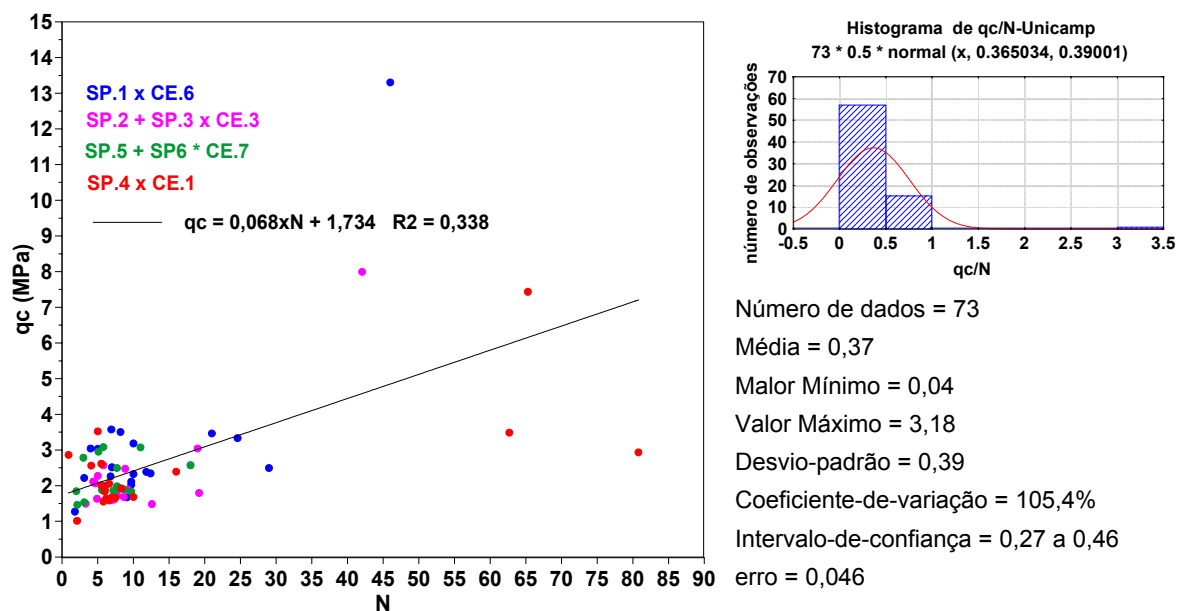


FIGURA 180 - Correlação entre N e qc - Feagri – Unicamp

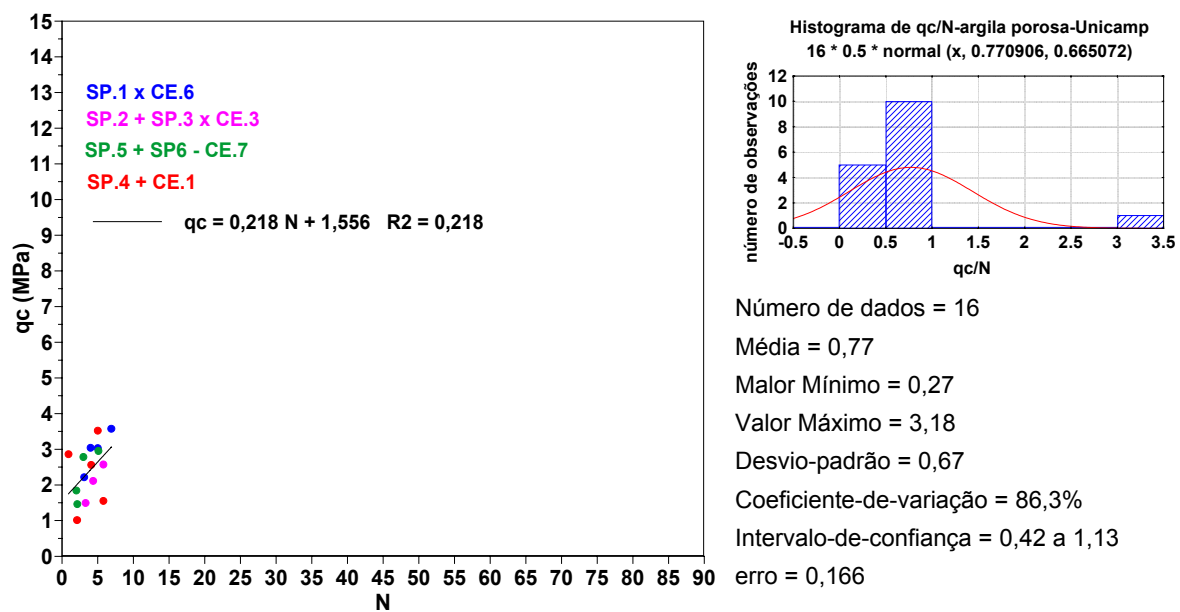


FIGURA 181 - Correlação entre N e qc - Feagri - argila arenosa, porosa Unicamp

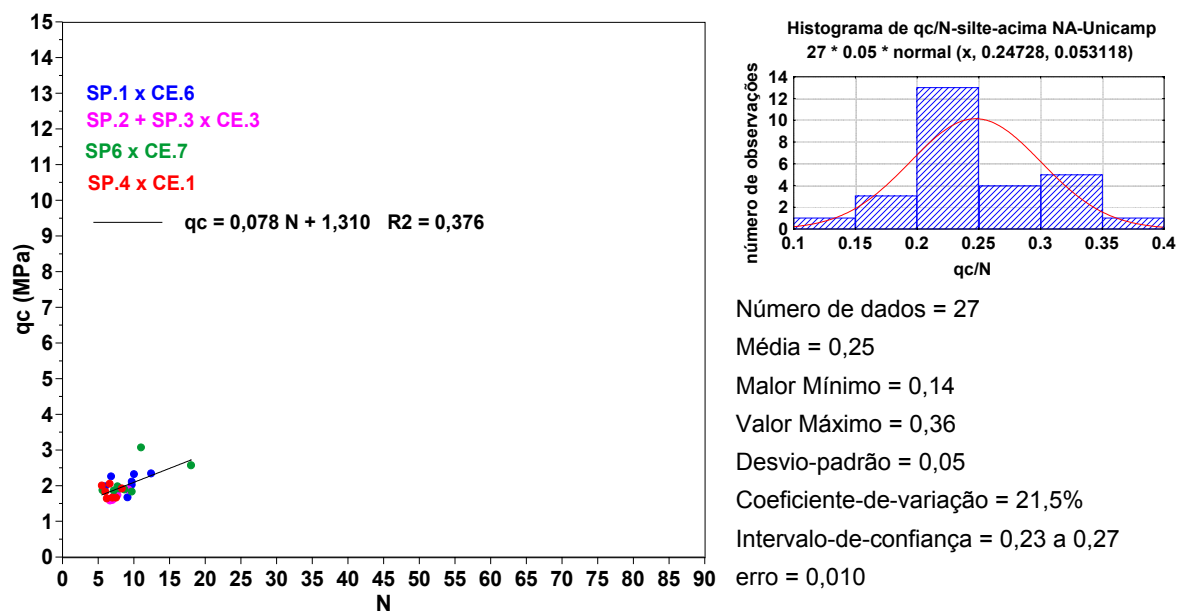


FIGURA 182 - FIGURA 181 - Correlação entre N e q_c - silte areno-argiloso - solo residual e acima do nível d'água –Feagri - Unicamp

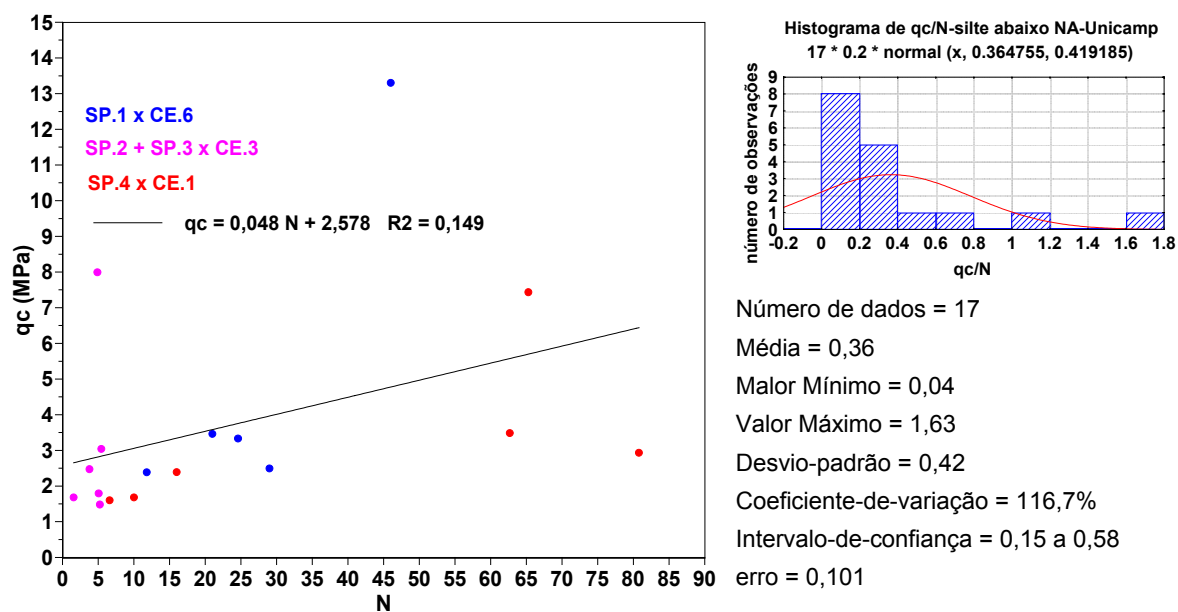


FIGURA 183 - Correlação entre N e q_c - silte areno-argiloso - solo residual e abaixo do nível d'água – Feagri - Unicamp

8.2.2 – Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos USP (SP)

Este Campo Experimental apresenta duas camadas bem definidas: areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa; areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos e do nível d'água. Apresenta-se nas Figuras 184 e 185 os resultados de qc/N .

Embora o número de dados (razão qc/N) seja considerado estatisticamente baixo, novamente os resultados do solo colapsível apresentaram maior variabilidade do que para o solo arenoso residual do arenito do Grupo Bauru.

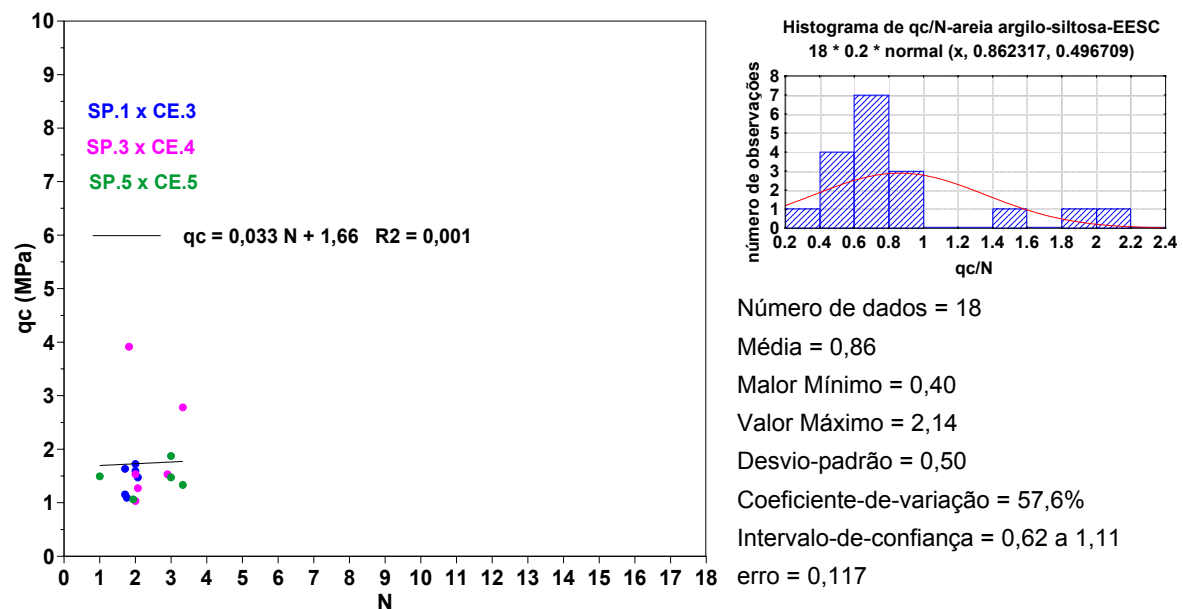


FIGURA 184 - Correlação entre N e qc - areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa - EESC - USP

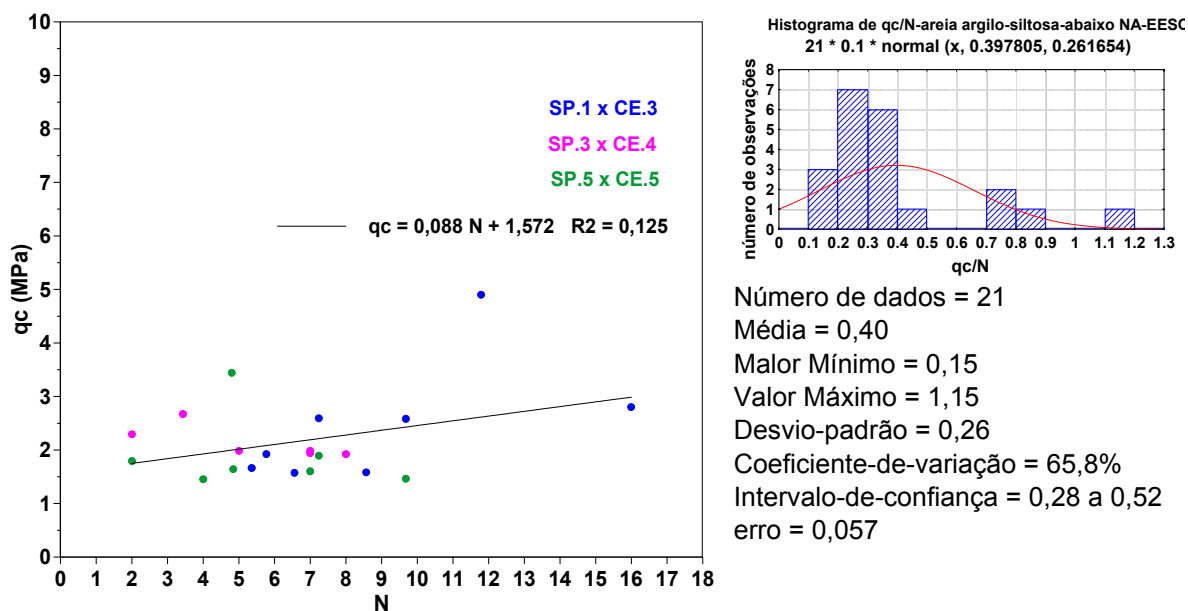


FIGURA 185 - Correlação entre N e qc - areia fina e média, argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos e do nível d'água –EESC - USP

8.2.3 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia – Unesp – Bauru (SP)

Como se mostrou anteriormente, não se encontrou o nível d'água nesse Campo Experimental até 20,0m de profundidade, sendo o subsolo formado por uma primeira camada de 12,0m composta de areia fina e média, argilosa, com os índices de resistência à penetração muito baixos e, logo abaixo, uma camada de mesma granulometria, mas com índices de resistência aumentados com a profundidade.

Nas Figuras 186 e 187 estão apresentadas as análises estatísticas da relação qc/N .

Devido ao fato de as cotas de todos os furos não estarem niveladas, serão comparados os valores médios de todos os índices de resistência N - para uma

mesma profundidade em relação à boca do furo - com os valores médios qc considerando-se a mesma metodologia e o Quadro 47 do Capítulo 5.

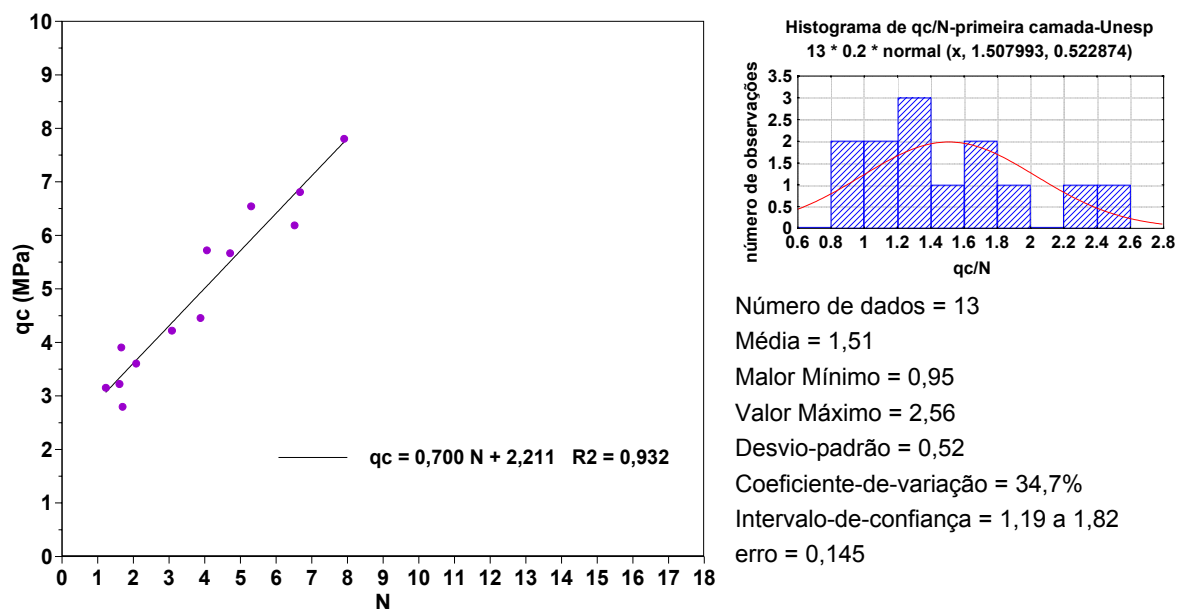


FIGURA 186 - Correlação entre N e qc - primeira camada de areia fina e média, argilosa –FET - Unesp - Bauru

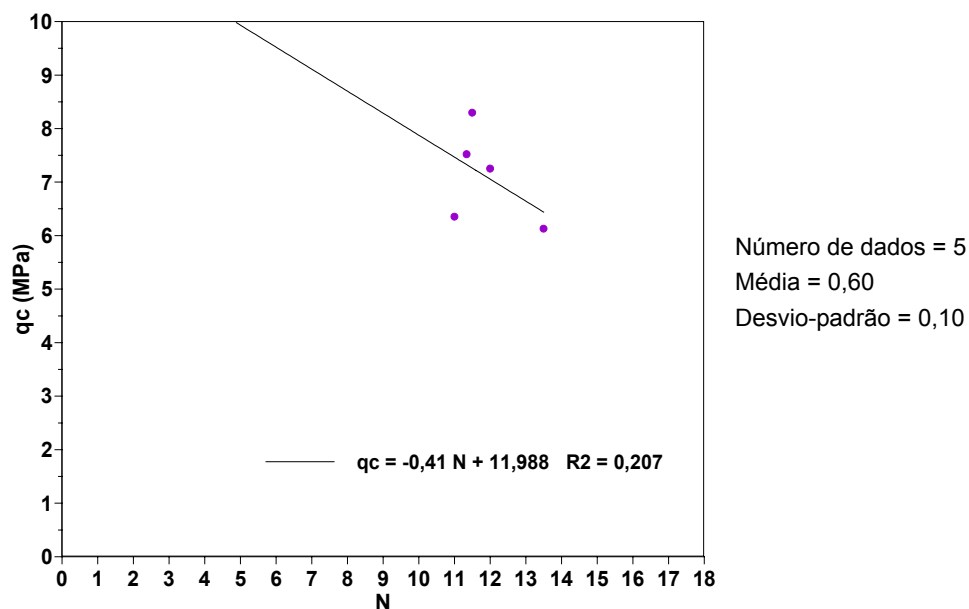


FIGURA 187 - Correlação entre N e qc - segunda camada de areia fina e média, argilosa - FET – Unesp – Bauru

8.2.4 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp – Ilha Solteira (SP)

Na Figura 188 está apresentada a análise estatística para a camada de areia argilosa, pouco siltosa, a até quinze metros, do Campo Experimental de Ilha Solteira. A escolha dos pares de valores foi igual àquela realizada para f_s/f_T : o ensaio *CPT* D3 foi descartado e os cálculos foram feitos entre as médias de D2, D1 e D5, com as médias de SP3 e SP4, bem como os valores do D4 com as médias entre SP1 e SP2.

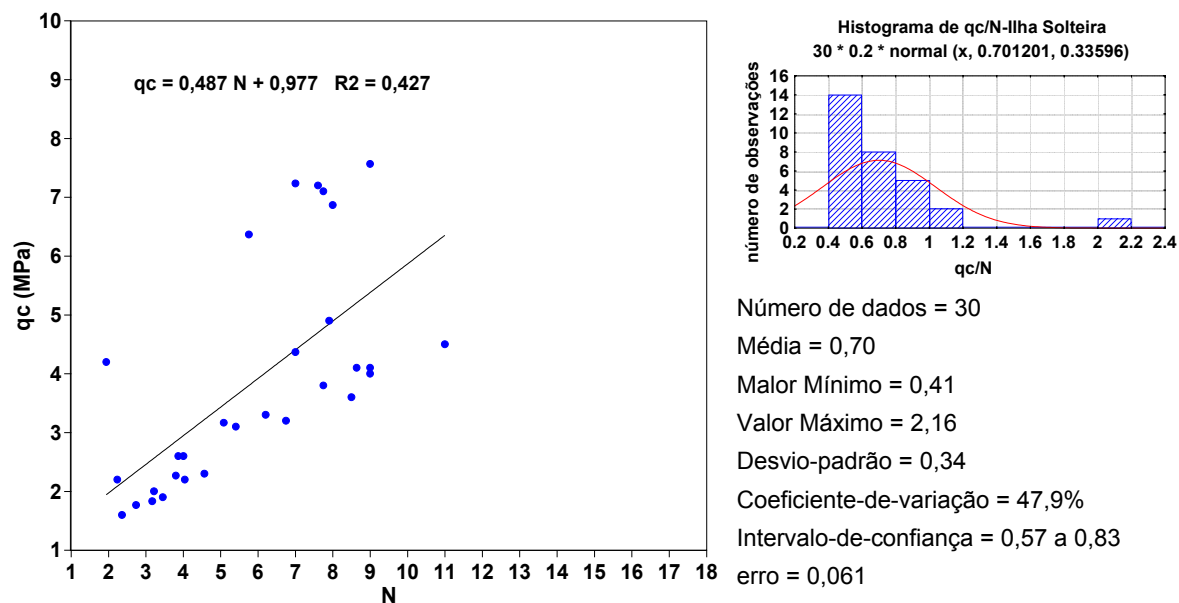


FIGURA 188 - Correlação entre N e qc - FEIS – Unesp – Ilha Solteira

8.2.5 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP São Paulo (SP)

Na Figura 189 estão apresentadas as análises estatísticas para o solo siltoso e residual do Campo Experimental da Escola Politécnica da USP – SP.

Para as análises, os dados do *PIT I* foram comparados com a média dos índices de resistência N , obtidos através dos ensaios SP1, SP2 e SP3 e os resultados do *PIT III* foram comparados com as médias dos índices de resistência N , entre o SP5 e SP6.

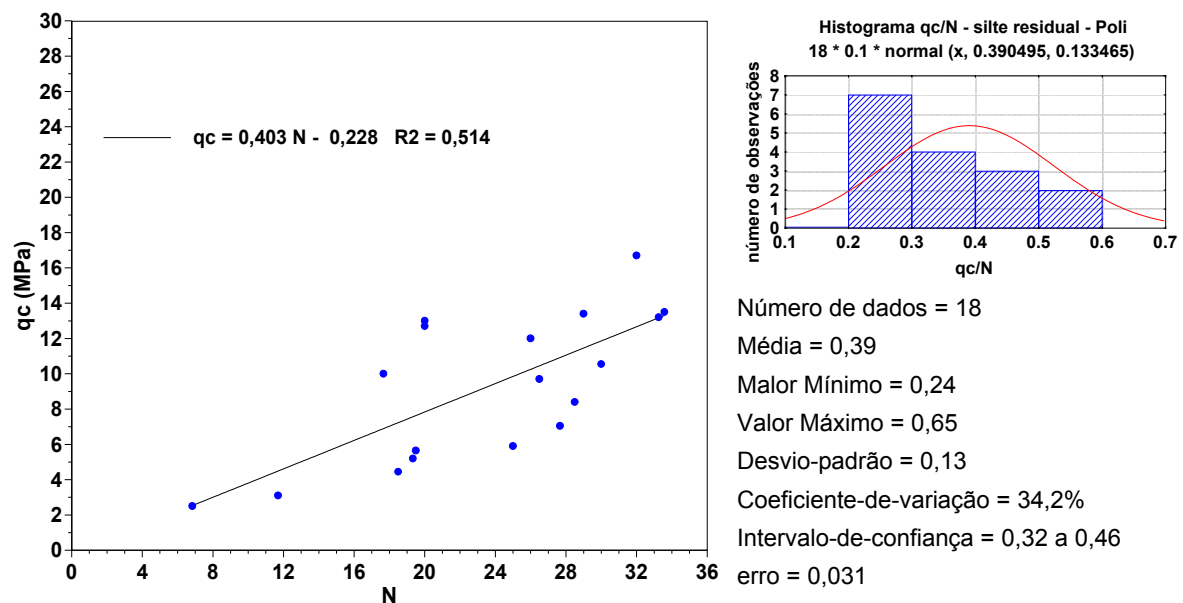


FIGURA 189 - Correlação entre N e qc - Escola Politécnica - USP

8.2.6 – Análises gerais da comparação entre qc e N

No Quadro 129 está apresentado o resumo das médias e os coeficientes-de-variação em função do tipo de solo e Campo Experimental.

QUADRO 129 - Quadro resumo de qc/N

Solo	qc/N		
	Média	Coeficiente-de-variação	Valor K Aoki e Velloso (1975)
<i>Campo Experimental da Feagri - Unicamp</i>			
Argila arenosa, porosa, colapsível	0,77	86,3%	0,35
Silte areno-argiloso, solo residual, acima do nível d'água	0,25	21,5%	0,45
Silte areno-argiloso, solo residual, abaixo do nível d'água	0,36	116,7%	0,45
<i>Campo Experimental da EESC - USP</i>			
Areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa	0,86	57,6%	0,60
Areia fina e média, muito argilosa, pouco siltosa, abaixo da linha-de-seixos e abaixo do nível d'água	0,40	65,8%	0,50
<i>Campo Experimental da Unesp – Bauru</i>			
Areia fina e média, argilosa, camada até 13 metros	1,51	34,7%	0,60
<i>Campo Experimental da Unesp – Ilha Solteira</i>			
Areia argilosa, pouco siltosa	0,70	47,9%	0,50
<i>Campo Experimental da Escola Politécnica – USP</i>			
Silte arenoso, pouco argiloso, solo residual	0,39	34,2%	0,55

Novamente foi constatada menor variabilidade para os solos residuais. A não-concordância com os valores propostos por Aoki e Velloso (1975) provavelmente deve-se própria variabilidade do maciço do solo, aliada ao fato de que nos Campos Experimentais da Unicamp, EESC e Unesp (Bauru) os ensaios foram realizados com o cone elétrico.

8.3 – RELAÇÃO T/N , *VERSUS* RAZÃO DE ATRITO, FR

As Figuras 164, 165 e 166 do Capítulo 7 já mostraram uma possibilidade de correlação entre T/N e FR ($=fs/qc$). Aqui, na Figura 189, além dos gráficos já apresentados no Capítulo 7, estão acrescentados os gráficos correspondentes aos Campos Experimentais de Ilha Solteira e da Politécnica.

Analisando-se a Figura 190, percebem-se comportamentos já mostrados em capítulos anteriores. É importante ressaltar o gráfico correspondente ao Campo Experimental de Ilha Solteira, no qual os ensaios *CPT* D4 e D5 são aqueles que estão mais próximos das estacas Pré-Moldadas ensaiadas por Menezes (1997) e resultaram em atritos laterais muito abaixo do esperado. Nesse local, a relação FR não só é maior do que os FR para os outros ensaios *CPT* como também o é no ensaio *SPT-T*, representando um atrito lateral maior no ensaio estático *CPT*, perdendo o mesmo após a vibração tanto na cravação da estaca, como do amostrador do *SPT-T*.

A relação T/N permite comparar um parâmetro estático, T , medido após uma solicitação dinâmica, N , sendo estes medidos em direções diferentes, Figura 191. De outra maneira, FR compara dois parâmetros estáticos, obtidos na mesma direção. Assim, no estudo dessas duas relações, não deve ser considerada apenas a anisotropia dos solos, mas a maneira como o solo é solicitado durante a execução dos dois ensaios.

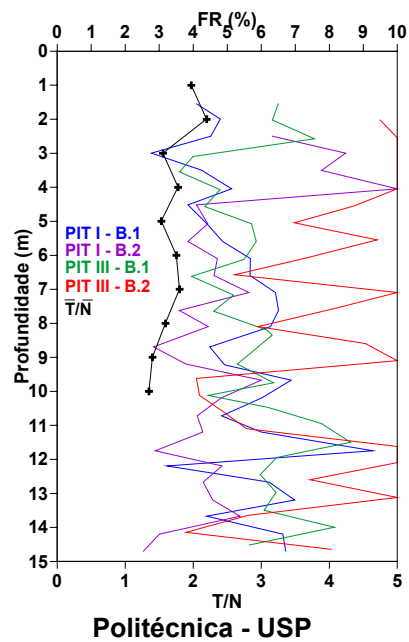
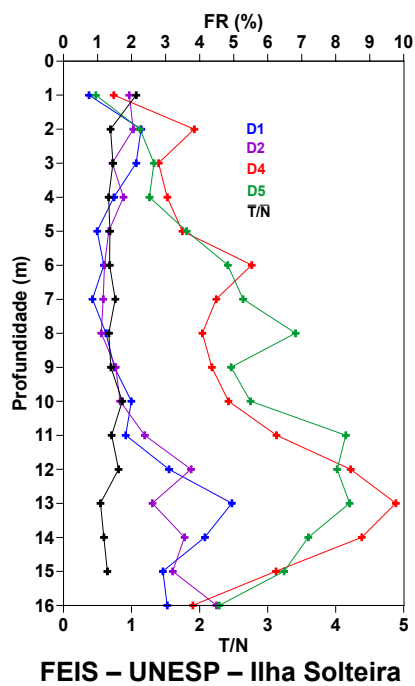
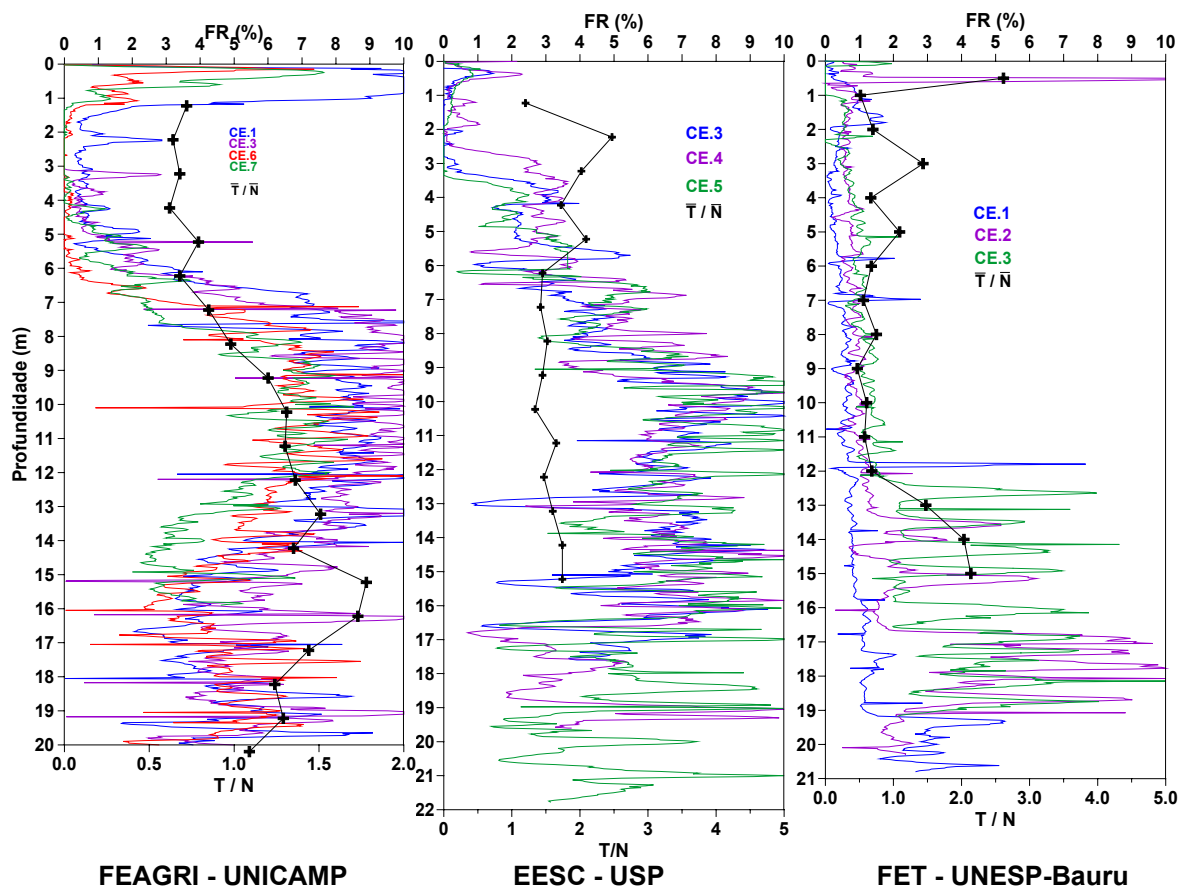


FIGURA 190 - Relação $\bar{T}/N$ versus Razão de Atrito, FR

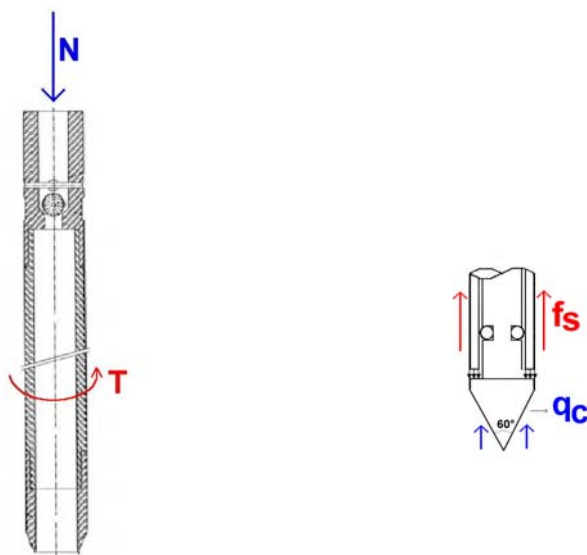


FIGURA 191 - Direção dos parâmetros obtidos no *SPT-T*

A comparação de FR e T/N considerando a anisotropia do solo não está discutida nesta pesquisa porque não pertence ao objetivo da mesma. Entretanto, ciente de que esse estudo é importante para compreensão do comportamento do solo, sugere-se como pesquisa futura.

9. PREVISÃO DA CAPACIDADE-DE-CARGA DAS ESTACAS ATRAVÉS DOS MÉTODOS EXISTENTES UTILIZANDO-SE *SPT-T*

Apresenta-se, neste capítulo, uma análise dos métodos já existentes que utilizam o ensaio *SPT-T* para previsão da capacidade-de-carga de estacas.

Estão sendo apresentados os cálculos das previsões de capacidade-de-carga, aplicando-se as metodologias que utilizam o ensaio *SPT-T*:

- Decourt (1996);
- Alonso (1996a e 1996b);
- Carvalho *et al* (1998).

No final deste capítulo, nos Quadros 160 e 161, estão apresentadas as análises gerais dos resultados dos cálculos obtidos através não somente das metodologias citadas acima, mas também daquelas já de uso corrente que utilizam os ensaio *SPT* e *CPT*, sendo:

- Decourt e Quaresma (1978) utilizando *SPT*;
- Aoki e Velloso (1975) utilizando *SPT*;
- Decourt (1996) utilizando *SPT*;
- Aoki e Velloso (1975) utilizando *CPT*;
- Philipponat (1978) utilizando *CPT*.

9.1 – EMPREGO DE METODOLOGIAS PARA A PREVISÃO DA CAPACIDADE-DE-CARGA DE ESTACAS UTILIZANDO-SE OS RESULTADOS DO ENSAIO *SPT-T*

Neste item estão apresentados os cálculos com as previsões de capacidade-de-carga de estacas para as fundações nas quais foram realizadas provas-de-carga instrumentadas nos seis Campos Experimentais (Unicamp, UFLA-Lavras, USP-São Carlos, Unesp-Bauru, Unesp-Ilha Solteira, USP-Politécnica). As Metodologias empregadas estão citadas a seguir:

- Método Decourt (1996)
- Alonso (1996a e 1996b)
- Carvalho *et al* (1998)

Decourt (1996)

Decourt (1996) propôs uma modificação na metodologia, já consagrada, de Decourt e Quaresma (1978), introduzindo coeficientes α e β , eq. (36), além de sugerir a utilização do Neq ($=T/1,2$), quando forem obtidos dados de $SPT-T$. Assim, os valores de N podem tanto corresponder ao N tradicional, como ao Neq . As equações propostas por este método são:

$$Q_u = \alpha * q_p * A_p + \beta * q_\lambda * A_\lambda \quad (36)$$

em que α e β são valores sugeridos para diversos tipos de estacas, Quadros 130 e 131;

q_p : reação da ponta;

q_λ : atrito lateral unitário;

A_p : área transversal da ponta da estaca e A_λ área lateral da estaca.

Considerando:

$$q_p = K * \bar{N} \quad (37)$$

sendo $\bar{N}$ a média dos valores N medidos na profundidade da ponta da estaca, o valor imediatamente acima e o imediatamente abaixo

K função do tipo de solo, Quadro 132.

$$\begin{aligned} q_\lambda &= 10 * \left(\frac{N}{3} + 1 \right) \quad \left(\text{kN/m}^2 \right) \\ \text{ou} & \\ q_\lambda &= \frac{N}{3} + 1 \quad \left(\text{tf/m}^2 \right) \end{aligned} \quad (38)$$

É importante observar que o valor deva variar entre 3 e 50. Decourt (1996) ainda sugeriu que, para os solos fora da Bacia Sedimentar Terciária de São Paulo, seja utilizado o Neq :

$$N_{eq} = T(\text{kgf} \cdot \text{m}) / 1,2 \quad (39)$$

Este N_{eq} substitui o N tradicional nas eq. (37) e (38).

**QUADRO 130 - Valores do coeficiente α em função do tipo de solo e estaca
apud Decourt (1996)**

Tipo de estaca Tipo de solo	Estacas Cravadas	Escavada	Escavada Bentoní-tica	Hélice Contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	1,00	0,85	0,85	0,30*	0,85*	1,00*
Solos Intermediários	1,00	0,60	0,60	0,30*	0,60*	1,00*
Areias	1,00	0,50	0,50	0,30*	0,50*	1,00*
* valores apenas orientativos diante de reduzido número de dados disponíveis						

**QUADRO 131 - Valores do coeficiente β em função do tipo de solo e estaca
apud Decourt (1996)**

Tipo de estaca Tipo de solo	Estacas Cravadas	Escavada	Escavada Bentoní-tica	Hélice Contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	1,00	0,80	0,90*	1,00*	1,50*	3,00*
Solos Intermediários	1,00	0,65	0,75*	1,00*	1,50*	3,00*
Areias	1,00	0,50	0,60*	1,00*	1,50*	3,00*
* valores apenas orientativos diante de reduzido número de dados disponíveis						

**QUADRO 132 - Valores do coeficiente K em função do tipo de solo apud
Decourt (1996)**

Tipo de solo	K (kN/m²)	K (tf/m²)
Argila	120	12
Silte argiloso (solo residual)	200	20
Silte arenoso (solo residual)	250	25
Areia	400	40

Alonso (1996a) e (1996b)

Alonso (1996a) apresentou expressões para se prever a adesão de vários tipos de estacas através do atrito lateral obtido do *SPT-T*, expressões estas apresentadas no Quadro 133.

QUADRO 133 - Expressões para se prever a adesão de vários tipos de estaca através do atrito lateral obtido do *SPT-T* apud Alonso (1996a).

TIPO DE ESTACA	EXPRESSÃO
Raiz	$r_l = 1,15 \cdot fT$
Pré-Moldada	$r_l = fT / 1,5$
Escavada com lama bentonítica	$r_l \cong fT / 1,7$
Hélice contínua	$r_l = 0,65 \cdot fT \leq 200 \text{kPa}$
r_l : adesão da estaca fT : atrito lateral obtido do <i>SPT-T</i>	

Neste mesmo ano, Alonso (1996b) propôs um método específico para previsão da capacidade-de-carga de estaca Hélice-Contínua, sendo utilizados neste método os valores de $T_{\text{máx}}$ para cálculo da parcela de atrito lateral e T_{res} para a parcela da ponta.

Sendo:

$$PR = PL + PP \quad (40)$$

em que:

$PL = \Sigma(U \cdot \Delta \lambda \cdot r_l) =$ parcela de carga por atrito lateral ao longo do fuste da estaca;

$PP = A \cdot r_p =$ parcela de carga resistida pelo solo sob a ponta da estaca;

$U =$ perímetro da seção transversal do fuste da estaca;

A = área da projeção da ponta da estaca sobre um plano perpendicular ao eixo da mesma;

$\Delta\lambda$ = trecho do fuste onde se admite atrito lateral unitário, $r\lambda$ constante.

$$r\lambda = 0,65 fT \leq 200 \text{ kPa} \quad (41)$$

em que fT é a adesão (máxima) calculada a partir do torque $T_{\text{máx}}$ através da equação de Ranzini (1994).

Para o cálculo de r_p , Alonso (1996b) utilizou o modelo proposto por De Beer (1972), adotando-se a resistência de ponta q_c , do ensaio de cone, igual a $\beta.N$, como é praxe nos métodos tradicionais de previsão da carga-de-ruptura de estacas. Além disso, baseado nos dados do Quadro 134 e da eq. (42), substitui-se N por T_{res} na eq. (43):

QUADRO 134 - Correlações $T_{\text{máx}}/T_{\text{res}}$ e $T_{\text{máx}}/N$ para a cidade de São Paulo e arredores

Área nº	Nº de Pontos	Relação		Área Nº	Nº de Pontos	Relação	
		$\frac{T_{\text{máx}}}{T_{\text{res}}}$	$\frac{T_{\text{máx}}}{N}$			$\frac{T_{\text{máx}}}{T_{\text{res}}}$	$\frac{T_{\text{máx}}}{N}$
01	110	1,33	1,23	15	54	1,20	1,14
02	115	1,20	1,25	16	101	1,16	1,15
03	14	1,21	1,33	17	20	1,10	1,48
04	27	1,27	1,26	18	54	1,14	1,00
05	69	1,25	1,15	19	58	1,15	1,28
06	13	1,42	1,93	20	46	1,15	1,07
07	75	1,15	1,56	21	42	1,15	1,30
08	29	1,09	1,00	22	25	1,13	1,06
09	9	1,24	1,04	23	57	1,17	1,18
10	13	1,49	1,17	24	17	1,27	1,24
11	33	1,25	1,01	25	75	1,37	1,14
12	56	1,15	1,16				
13	20	1,28	1,32	Total	1,196	--	--
14	64	1,06	1,00	Média Aritmética		1,22	1,22

(**Importante:** os valores do torque desta tabela referem-se à penetração $h = 45$ cm do amostrador)

Segundo o autor, através do Quadro 134, verifica-se que, para os solos da Bacia Sedimentar Terciária da cidade de São Paulo e arredores, a correlação média $T_{\text{máx}}/T_{\text{res}}$ é praticamente igual à correlação média $T_{\text{máx}}/N$, e portanto, pode-se escrever:

$$T_{\text{res}} \text{ (em kgf.m)} \cong N \quad (42)$$

$$r_p = \beta \cdot \frac{T_{\text{res}}^{(1)} + T_{\text{res}}^{(2)}}{2} \quad (43)$$

em que:

$T_{\text{res}}^{(1)}$ = média aritmética dos valores do torque mínimo (em kgf.m) no trecho 8.D acima da ponta da estaca ;

$T_{\text{res}}^{(2)}$ = idem para o trecho 3.D abaixo da ponta da estaca.

Notas: 1) Os valores de $T_{\text{res}}^{(1)}$ e $T_{\text{res}}^{(2)}$ superiores a 40 kgf.m devem ser adotados iguais a 40 kgf.m.

2) β = 200 (kPa/kgf.m) para as areias; 150 (kPa/kgf.m) para os siltes e 100 (kPa/kgf.m) para as argilas

Carvalho et al. (1998)

Carvalho *et al.* (1998) analisaram resultados de sondagens realizadas segundo a NB-6484 (1980) e com avanço através de cravação direta do amostrador de bico grosso, sendo esse procedimento prática comum no Distrito

Federal. Comparam a adesão-atrito obtida da equação de Ranzini com os métodos Aoki e Veloso (1975) e Decourt e Quaresma (1978). Sugeriram, para os solos porosos daquela região, que o dimensionamento de estacas pode ser feito através da eq. (44):

$$PR = PP + (U * L * f_T * \alpha_T) \quad (44)$$

sendo PP : parcela de ponta calculada segundo Aoki e Veloso (1975) ou Decourt e Quaresma (1978), considerando os coeficientes propostos por Rodrigues *et al* (1998), Quadro 135;

U : perímetro transversal da estaca;

L : comprimento da estaca;

f_T : adesão média ao longo do comprimento da estaca;

α_T : coeficientes para cálculo da parcela lateral, Quadro 136.

**QUADRO 135 - Coeficientes propostos por Rodrigues *et al* (1998)
para valores F_1 e F_2 de Aoki e Veloso (1975)
e α e β de Decourt e Quaresma (1978)**

Estacas	Aoki e Veloso		Decourt e Quaresma	
	F_1	F_2	α	β
Strauss	1,70	3,40	1,15	1,10
Pré-Moldada	2,70	5,50	0,55	0,55
Escavada Mecanicamente	1,70	3,35	0,90	0,85
Escavada Manualmente	2,35	4,70	0,65	0,60

**QUADRO 136 - Coeficientes para cálculo da parcela lateral (α_T)
apud Carvalho *et al* (1998)**

Estacas	Aoki e Veloso		Decourt e Quaresma	
	Bico-Grosso	NB-6484	Bico-Grosso	NB-6484
Strauss	1,10	0,85	1,00	1,10
Pré-Moldada	0,50	0,85	0,65	0,90
Escavada Mecanicamente	0,75	1,30	0,95	1,35
Escavada Manualmente	0,50	0,90	0,70	0,95

9.1.1 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp – Campinas (SP)

Nesse Campo Experimental, até o momento, foram realizadas provas-de-carga instrumentadas em estacas:

- Pré-Moldadas (Albuquerque, 1996);
- Hélices-Contínuas, Ômega e Escavadas (Albuquerque, 2001).

Primeiramente estão apresentados os resultados das provas-de-carga no Quadro 137, para depois serem analisados os resultados obtidos através das três metodologias: Decourt (1996), Alonso (1996a e 1996b) e Carvalho *et al* (1998).

Observando-se os resultados das provas-de-carga no Quadro 137, percebe-se, claramente, a grande variabilidade dos resultados referentes à parcela de ponta das estacas. Para as estacas escavadas, essa parcela praticamente não foi mobilizada, tornando super-dimensionados os resultados dos cálculos das previsões de capacidade-de-carga apresentados a seguir .

Por outro lado, as parcelas de atrito lateral, obtidas através de instrumentação, não apresentaram variação nos resultados para uma mesma estaca.

Não apenas no Quadro 137, mas também nos Quadros dos outros Campos Experimentais referentes aos resultados das provas-de-carga, quando o ensaio realizado foi instrumentado, estão sendo apresentadas tanto as parcelas de carga, como as tensões, adotando-se a seguinte nomenclatura:

- PL : parcela de carga referente ao atrito lateral;
- PP: parcela de carga na ponta;
- PR: carga de ruptura;
- q_s : tensão referente ao atrito lateral;
- q_p : tensão na ponta;
- q_u : tensão de ruptura.

QUADRO 137 - Resultados das Provas-de-Carga Instrumentadas Realizadas no Campo Experimental da Feagri - Unicamp

Tipo Estaca	Diâmetro Médio (m)	Comprimento (m)	Lateral PL (kN) (q_s (kPa))	Ponta PP (kN) (q_p (kPa))	Total PR (kN) (q_u (kPa))
Pré-Moldada Compressão	0,18	12,5	219 (31,0)	43 (1689,8)	262 (1720,8)
Hélice-Contínua 1 Compressão	0,40	11,4	864 (60,3)	96 (763,9)	960 (824,3)
Hélice-Contínua 2 Compressão			908 (63,4)	67 (533,2)	975 (596,6)
Hélice-Contínua 3 Compressão			697 (48,7)	23 (183,0)	720 (231,7)
Ômega 1 Compressão	0,39	11,4	1376 (98,5)	169 (1414,7)	1545 (1513,2)
Ômega 2 Compressão			1130 (80,9)	290 (2427,6)	1420 (2508,5)
Ômega 3 Compressão			1182 (84,6)	138 (1155,2)	1320 (1239,8)
Escavada 1 Compressão	0,45	11,4	714 (44,3)	3 (18,9)	717 (63,2)
Escavada 2 Compressão			657 (40,8)	13 (81,7)	670 (122,5)
Escavada 3 Compressão			668 (41,1)	25 (157,2)	693 (198,6)

Decourt (1996)

Utilizaram-se os seguintes valores para os coeficientes:

- $K = 200 \text{ kN/m}^2$
- Pré-Moldada: $\alpha = 1,00$ e $\beta = 1,00$;
- Hélice-Contínua: $\alpha = 0,30$ e $\beta = 1,00$;
- Escavada: $\alpha = 0,60$ e $\beta = 0,65$;
- Ômega: adotando-se os valores de estacas injetadas sob alta pressão, $\alpha = 1,00$ e $\beta = 3,00$.

Todos os cálculos foram realizados com os valores de $Neq = T / 1,2$.

Os resultados, bem como as comparações com os valores obtidos nas provas-de-carga, estão no Quadro 138:

Através do Quadro 138 podem-se fazer as seguintes observações para o cálculo da capacidade-de-carga através de Decourt (1996) para as estacas desse Campo Experimental:

- Os resultados de ponta e lateral estão satisfatórios tanto para a estaca Pré-Moldada, como para as estacas Ômega.
- Os resultados referentes às estacas Escavadas foram sub-dimensionados para a parcela lateral e super-dimensionados para a parcela da ponta.
- Nas estacas Hélices-Contínuas desse Campo Experimental, o método funcionou para o cálculo da parcela da ponta em duas estacas e extrapolou na outra. Quanto à parcela do atrito lateral, o coeficiente β não conduziu a bons resultados.

QUADRO 138 - Resultados através de Decourt (1996) - Unicamp

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Pré-Moldada Compressão	187	49	236	0,85	1,14	0,90
Hélice-Contínua 1 Compressão	416	74	490	0,48	0,77	0,51
Hélice-Contínua 2 Compressão				0,46	1,10	0,50
Hélice-Contínua 3 Compressão				0,60	3,22	0,68
Ômega 1 Compressão	1218	232	1450	0,89	1,37	0,94
Ômega 2 Compressão				1,08	0,80	1,02
Ômega 3 Compressão				1,03	1,58	1,10
Escavada 1 Compressão	304	186	490	0,43	62,00	0,68
Escavada 2 Compressão				0,46	14,31	0,73
Escavada 3 Compressão				0,46	7,44	0,71

Alonso (1996a) e (1996b)

Os cálculos para as estacas Hélice-Contínuas foram realizados segundo Alonso (1996b) e, para as demais estacas, segundo Alonso (1996a).

Desta maneira, para os cálculos da parcela de atrito lateral das estacas foram consideradas as seguintes expressões:

- Pré-Moldada: $qs = r\lambda = fT_{m\acute{a}x} / 1,5$
- Hélice-Contínua: $qs = r\lambda = 0,65 \cdot fT \leq 200kPa$
- Ômega: adotando-se os valores de estacas Raiz, $qs = r\lambda = 1,15 \cdot fT$
- Escavada: adotando-se os valores de estacas Escavadas com lama bentonítica, $qs = r\lambda = fT / 1,7$

Os resultados, bem como as comparações com os valores obtidos nas provas-de-carga estão apresentados no Quadro 139:

Observa-se que a parcela de atrito lateral calculada por este método resulta em valores sub-dimensionados para todos os tipos de estaca aqui estudados. Quanto à parcela da ponta, o método funciona para as estacas Pré-Moldada e Ômega mas, para as estacas Escavadas e Hélice-Contínua, os valores estão super-dimensionados.

No caso específico da estaca Escavada, foi adotada a equação sugerida por Alonso (1996a) que se refere a estaca Escavada com lama bentonítica para o cálculo de r_{λ} porque, embora sabendo-se que são dois tipos diferentes de estacas, não existe uma sugestão do autor para a estaca específica e também essa equação está mais conservadora do que se adotasse a que se refere à estaca Hélice-Contínua, por exemplo.

Carvalho et al. (1998)

Para o cálculo da parcela de ponta foi adotado o método de Decourt e Quaresma (1978) com os coeficientes α , de acordo com a proposta do autor. Os coeficientes α_T , para a obtenção da parcela de atrito lateral, estão apresentados a seguir. É importante destacar que não foram calculadas as capacidades das estacas Ômega pois esse método não foi desenvolvido para esse tipo de estaca ou para alguma que possa ser considerada compatível.

- Pré-Moldada: $\alpha_T = 0,90$ e $\alpha = 1,00$
- Hélice-Contínua: adotando-se os valores de estacas Escavadas mecanicamente, $\alpha_T = 1,35$ e $\alpha = 0,90$

- Escavada: $\alpha_T = 1,35$ e $\alpha = 0,90$

Os resultados, bem como a comparação com os valores obtidos nas provas-de-carga, estão no Quadro 140:

Para as estacas do tipo Pré-Moldada e Escavada, este método forneceu bons resultados no que se refere à parcela do atrito lateral, porém, não foi adequado para a parcela da ponta, cujo valor ficou sub-dimensionado para a estaca Pré-Moldada e extrapolado para a Escavada. Para o cálculo da estaca Hélice-Contínua, foram considerados os coeficientes da estaca Escavada, fornecendo um valor em torno de 77% do resultado da prova-de-carga.

QUADRO 139 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b) - Unicamp

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Pré-Moldada Compressão	130	43	173	0,59	1,00	0,66
Hélice-Contínua 1 Compressão	251	164	415	0,29	1,71	0,43
Hélice-Contínua 2 Compressão				0,27	2,44	0,43
Hélice-Contínua 3 Compressão				0,36	7,13	0,58
Ômega 1 Compressão	486	200	686	0,35	1,18	0,44
Ômega 2 Compressão				0,43	0,68	0,48
Ômega 3 Compressão				0,41	1,44	0,52
Escavada 1 Compressão	287	266	553	0,40	89,67	0,77
Escavada 2 Compressão				0,44	20,46	0,83
Escavada 3 Compressão				0,43	10,64	0,80

QUADRO 140 - Resultados através de Carvalho et al (1998) - Unicamp

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Pré-Moldada Compressão	176	16	192	0,80	0,37	0,73
Hélice-Contínua 1 Compressão	557	129	686	0,64	1,34	0,71
Hélice-Contínua 2 Compressão				0,61	1,93	0,70
Hélice-Contínua 3 Compressão				0,80	5,61	0,95
Escavada 1 Compressão	627	163	790	0,88	54,33	1,10
Escavada 2 Compressão				0,95	12,54	1,18
Escavada 3 Compressão				0,94	6,52	1,14

9.1.2 – Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras (MG)

Neste Campo Experimental, Teixeira (1997) realizou provas-de-carga em Tubulões, estacas Broca, além de ensaios em placa. Neste item estão apresentados os resultados da capacidade-de-carga das cinco estacas Broca, interpretados pelo método de Van Der Veen (1953), cujas características estão apresentadas no Quadro141. Os outro elementos não fizeram parte desse estudo por ainda não existirem métodos que utilizem o *SPT-T* para esses tipos de fundações.

**QUADRO 141 - Resultados das Provas-de-Carga Realizadas no Campo
Experimental da Universidade Federal de Lavras**

Tipo Estaca	Diâmetro Médio (m)	Compri- mento (m)	Total PR (kN)
Broca 1 Compressão	0,25	4,0	137,0
Broca 4 Compressão	0,20	6,0	174,0
Broca 8 Compressão	0,20	4,0	123,3
Broca 9 Compressão	0,15	6,0	139,6
Broca 10 Compressão	0,25	6,0	186,6

Decourt (1996)

Utilizaram-se os seguintes coeficientes para o cálculo da capacidade-de-carga das estacas:

- $K=200 \text{ kN/m}^2$ para as estacas de quatro metros de profundidade;
- $K =250 \text{ kN/m}^2$ para as estacas de quatro metros de profundidade;
- Broca: $\alpha = 0,60$ e $\beta = 0,65$;

Os resultados que estão apresentados no Quadro 142 indicam que esse método fornece valores sub-dimensionados para as estacas tipo Broca deste Campo Experimental.

QUADRO 142 - Resultados através de Decourt (1996) - UFLA

Tipo Estaca	Total PR_{CAL} (kN)	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Broca 1 Compressão	95	0,69
Broca 4 Compressão	110	0,63
Broca 8 Compressão	71	0,58
Broca 9 Compressão	75	0,54
Broca 10 Compressão	148	0,79

Alonso (1996a) e (1996b)

Para a estaca Broca, foi considerado $q_s = r\lambda = fT_{m\acute{a}x} / 1,7$, que é a expressão sugerida para estaca Escavada com Lama Bentonítica. A parcela da ponta foi calculada em função de Decourt e Quaresma (1978). Os resultados apresentados no Quadro 143 indicam que esse método fornece bons resultados para esse tipo de estaca neste Campo Experimental.

QUADRO 143 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b) - UFLA

Tipo Estaca	Total PR_{CAL} (kN)	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Broca 1 Compressão	128	0,93
Broca 4 Compressão	173	0,99
Broca 8 Compressão	91	0,74
Broca 9 Compressão	121	0,87
Broca 10 Compressão	230	1,23

Carvalho et al. (1998)

Foram considerados os coeficientes $\alpha_T = 0,95$ e $\alpha = 0,65$, que são os parâmetros sugeridos para estacas Escavadas manualmente. Os resultados que estão apresentados no Quadro 144 indicam que esse método também fornece bons resultados para esse tipo de estaca.

QUADRO 144 - Resultados através de Carvalho et al. (1998) - UFLA

Tipo Estaca	Total PR_{CAL} (kN)	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Broca 1 Compressão	139	1,01
Broca 4 Compressão	150	0,86
Broca 8 Compressão	105	0,85
Broca 9 Compressão	107	0,77
Broca 10 Compressão	197	1,06

9.1.3 – Campo Experimental da Escola de Engenharia de São Carlos – USP – (SP)

Nesse Campo Experimental foram executadas as seguintes provas-de-carga:

- Estacas Escavadas, ensaio à compressão, (Mantilla, 1992);
- Estacas Escavadas, ensaio à tração, (Carvalho, 1991);

- Estaca Raiz, ensaios à compressão e à tração, (Carvalho, 1991);
- Estaca Strauss ensaio à compressão e à tração, (Carvalho 1995);
- Estaca Broca ensaio à compressão em (Silva, 1996);
- Estaca Apiloadada ensaio à compressão em (Carneiro, 1994).

As características destas estacas estão apresentadas no Quadro 145. Nesse Campo Experimental foi executada instrumentação apenas nas estacas Escavadas e Raiz. Aqui, diferentemente das estacas escavadas do Campo Experimental da Unicamp, a parcela de ponta representou em torno de 28% do valor da ruptura. Percebe-se também a variação dos resultados de ruptura das estacas Apiloadadas.

Decourt (1996)

Utilizaram-se, nos cálculos, os seguintes coeficientes:

- $K = 350 \text{ kN/m}^2$;
- Escavada: $\alpha = 0,50$ e $\beta = 0,50$;
- Raiz: $\alpha = 0,50$ e $\beta = 1,50$;
- Strauss e Apiloadada: adotando-se valores correspondentes à média dos coeficientes para estaca Pré-Moldada e Escavada, $\alpha = 0,75$ e $\beta = 0,75$;
- Broca: $\alpha = 0,50$ e $\beta = 0,50$;

O resultados que estão apresentados no Quadro 146 mostram que esse método não é adequado para as estacas desse Campo Experimental.

QUADRO 145 - Resultados das Provas-de-Carga Realizadas no Campo
Experimental da EESC - USP

Tipo Estaca	Diâmetro Médio (m)	Comprimento (m)	Lateral PL (kN) (q_s (kPa))	Ponta PP (kN) (q_p (kPa))	Total PR (kN) (q_u (kPa))
Escavada Compressão	0,35	9,10	292 (29,2)	92 (956,2)	384 (985,4)
	0,40	9,10	347 (30,3)	130 (1034,5)	477 (1064,9)
	0,50	9,10	464 (32,5)	230 (1171,4)	694 (1203,8)
Escavada Tração	0,35	9,10	363 (36,3)	-	363 (36,3)
	0,40	9,10	408 (35,7)	-	408 (35,7)
	0,50	9,10	429 (30,0)	-	429 (30,0)
Raiz Compressão	0,25	15,00	935 (79,4)	115 (2342,8)	1050 (2422,1)
Raiz Tração	0,25	15,00	-	-	700
Strauss Compressão	0,38	9,40	-	-	653
Strauss Tração	0,38	9,40	-	-	366
Broca I_N Compressão	0,25	6,00	-	-	145
Broca I_s Compressão	0,25	6,00	-	-	139
Apiloadada 1A Compressão	0,20	6,00	-	-	232
Apiloadada 2A Compressão	0,20	6,00	-	-	200
Apiloadada 3A Compressão	0,20	6,00	-	-	150
Apiloadada 4A Compressão	0,20	9,00	-	-	255
Apiloadada 5A Compressão	0,20	9,00	-	-	312
Apiloadada 6A Compressão	0,20	9,00	-	-	270

QUADRO 146 - Resultados através de Decourt(1996) – EESC-USP

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Escavada d=0,35m Compressão	114	134	248	0,39	1,46	0,66
Escavada d=0,40m Compressão	130	175	305	0,37	1,35	0,64
Escavada d=0,50m Compressão	163	273	436	0,35	1,19	0,63
Raiz Compressão	710	176	886	0,76	1,53	0,84
Strauss Compressão	185	237	422	-	-	0,65
Broca I_N Compressão	50	29	79	-	-	0,54
Broca I_S Compressão	50	29	79	-	-	0,57
Apiloadada 1A Compressão	60	28	88	-	-	0,38
Apiloadada 2A Compressão	60	28	88	-	-	0,44
Apiloadada 3A Compressão	60	28	88	-	-	0,59
Apiloadada 4A Compressão	98	66	164	-	-	0,64
Apiloadada 5A Compressão	98	66	164	-	-	0,53
Apiloadada 6A Compressão	98	66	164	-	-	0,61

Alonso (1996a) e (1996b)

Foram consideradas as seguintes expressões para os cálculos da parcela de atrito lateral das estacas:

- Escavada: adotando-se a expressão para estaca escavada com Lama Bentonítica, $qs = r\lambda = fTmáx / 1,7$;
- Raiz: $qs = r\lambda = 1,15 \cdot fTmáx$;

- Strauss: adotando-se a expressão sugerida para a estaca escavada com lama bentonítica, $qs = r\lambda = fT_{m\acute{a}x} / 1,7$;
- Broca: adotando-se a expressão sugerida para a estaca escavada com Lama Bentonítica, $qs = r\lambda = fT_{m\acute{a}x} / 1,7$;
- Apiloadada: adotando-se a expressão sugerida para a estaca Pré-Moldada, $qs = r\lambda = fT_{m\acute{a}x}/1,5$.

Os resultados apresentados no Quadro 147 mostram que esse método também não é adequado para as estacas desse Campo Experimental.

QUADRO 147 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b) – EESC-USP

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Escavada d=0,35m Compressão	130	173	303	0,45	1,88	0,79
Escavada d=0,40m Compressão	148	226	374	0,43	2,72	0,78
Escavada d=0,50m Compressão	185	353	538	0,40	1,53	0,76
Raiz Compressão	699	197	896	0,75	1,71	0,85
Strauss Compressão	141	204	345	-	-	0,53
Broca I_N Compressão	53	52	105	-	-	0,72
Broca I_S Compressão				-	-	0,76
Apiloadada 1A Compressão	61	33	94	-	-	0,41
Apiloadada 2A Compressão				-	-	0,47
Apiloadada 3A Compressão				-	-	0,63
Apiloadada 4A Compressão	84	57	141	-	-	0,55
Apiloadada 5A Compressão				-	-	0,45
Apiloadada 6A Compressão				-	-	0,52

Carvalho et al. (1998)

Foram considerados os seguintes coeficientes:

- Escavada: $\alpha_T = 1,35$ e $\alpha = 0,90$;
- Raiz: adotando-se os valores de estacas Strauss, $\alpha_T = 1,10$ e $\alpha = 1,15$;
- Strauss: $\alpha_T = 1,10$ e $\alpha = 1,15$;
- Broca: $\alpha_T = 0,95$ e $\alpha = 0,65$;

A capacidade-de-carga para a estaca Apiloadada não foi calculada pois este método não fornece coeficientes para a mesma.

Os resultados que estão apresentados no Quadro 148 indicam que, referente à carga total, o método é adequado, mas, avaliando-se as estacas Escavadas, nota-se que a parcela da ponta é super-dimensionada.

QUADRO 148 - Resultados através de Carvalho et al. (1998) – EESC-USP

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Escavada d=0,35m Compressão	311	156	467	1,07	1,70	1,22
Escavada d=0,40m Compressão	355	204	359	1,02	1,57	1,18
Escavada d=0,50m Compressão	444	318	762	0,96	1,38	1,10
Raiz Compressão	548	238	786	0,59	2,07	0,75
Strauss Compressão	280	235	515	-	-	0,79
Broca I_N Compressão	86	28	114	-	-	0,79
Broca I_S Compressão				-	-	0,82

9.1.4 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia e Tecnologia – Unesp – Bauru (SP)

Estão apresentados, no Quadro 149, os resultados de provas-de-carga realizadas por Ferreira (1998), em nove estacas Apiloadas. Quatro estacas foram instrumentadas, fornecendo, assim, as parcelas de ponta e lateral: Apiloadas 2, Apiloadas 3, Apiloadas 4 e Apiloadas 6. Percebe-se a dificuldade na avaliação dos resultados das previsões de capacidade-de-carga devido à variabilidade dos resultados para estacas com mesmas características.

QUADRO 149 - Resultados das Provas-de-Carga Instrumentadas Realizadas no Campo Experimental da Unesp - Bauru

Tipo Estaca	Diâmetro Médio (m)	Comprimento (m)	Lateral PL (kN) (q_s (kPa))	Ponta PP (kN) (q_p (kPa))	Total PR (kN) (q_u (kPa))
Apiloadas 2 Compressão	0,25	3,50	80 (29,1)	20 (407,4)	100 (436,5)
Apiloadas 13 Compressão			-	-	135
Apiloadas 16 Compressão			-	-	55
Apiloadas 6 Compressão	0,25	6,50	143 (28,0)	88 1792,7	231 1820,7
Apiloadas 7 Compressão			-	-	285
Apiloadas 12 Compressão			-	-	337
Apiloadas 3 Compressão	0,25	9,50	234 (31,4)	103 (2098,3)	337 (2129,7)
Apiloadas 4 Compressão			231 (31,0)	11 (224,1)	242 (255,0)
Apiloadas 5 Compressão			-	-	652

Decourt (1996)

Utilizaram-se os seguintes coeficientes:

- $K = 400 \text{ kN/m}^2$
- Apiloadas: os coeficientes α e β foram considerados como os valores médios para aqueles adotados para Estaca Pré-Moldada e Escavada: $\alpha=0,75$ e $\beta=0,75$;

Os resultados que estão apresentados no Quadro 150 mostram como a variabilidade dos resultados das provas-de-carga dificultam as análises. Este fato se repete quando o cálculo é feito para a média das cargas de ruptura, obtendo-se relações $PR_{CAL} / \overline{PR}$ para as estacas com profundidades 3,5m, 6,5m e 9,5m iguais a 0,92, 0,39 e 0,38, respectivamente.

QUADRO 150 - Resultados através de Decourt (1996) – Unesp - Bauru

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{\overline{PR}}$
Apiloadas 2 Compressão	65	24	89	0,81	1,20	0,89	0,92
Apiloadas 13 Compressão				-	-	0,66	
Apiloadas 16 Compressão				-	-	1,62	
Apiloadas 6 Compressão	73	37	110	0,51	0,42	0,48	0,39
Apiloadas 7 Compressão				-	-	0,39	
Apiloadas 12 Compressão				-	-	0,33	
Apiloadas 3 Compressão	109	45	154	0,47	0,44	0,46	0,38
Apiloadas 4 Compressão				0,47	4,09	0,64	
Apiloadas 5 Compressão				-	-	0,24	

Alonso (1996a) e (1996b)

Para a estaca Apiloadada, foi utilizada a expressão de estaca Pré-Moldada

$$q_s = r\lambda = fT/1,5.$$

Os resultados estão apresentados no Quadro 151. Mais uma vez a variação nos resultados dificultou uma análise conclusiva, podendo-se apenas afirmar que o método é conservador para essas estacas.

QUADRO 151 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b)– Unesp - Bauru

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Apiloadada 2 Compressão	17	42	59	0,21	2,10	0,59	0,61
Apiloadada 13 Compressão				-	-	0,44	
Apiloadada 16 Compressão				-	-	1,07	
Apiloadada 6 Compressão	34	83	117	0,24	0,94	0,51	0,41
Apiloadada 7 Compressão				-	-	0,41	
Apiloadada 12 Compressão				-	-	0,35	
Apiloadada 3 Compressão	63	120	183	0,27	1,17	0,54	0,44
Apiloadada 4 Compressão				0,27	10,91	0,76	
Apiloadada 5 Compressão				-	-	0,28	

Carvalho et al. (1998)

A capacidade-de-carga para a estaca Apiloadada não foi calculada porque este método não fornece coeficientes para a mesma.

9.1.5 – Campo Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp (SP)

Nesse Campo Experimental, Segantini (2000) ensaiou estacas Apiloadas e Escavadas preenchidas por concreto, solo-cimento compactado e solo-cimento plástico, enquanto Menezes (1997) realizou provas-de-carga em estacas Pré-Moldadas.

Para as estacas ensaiadas por Segantini (2000) foram utilizadas as seguintes nomenclaturas: *CON* para concreto; *SCC* para solo-cimento compactado e *SCP* para solo-cimento plástico. Em algumas estacas foram realizados ensaios lentos, em outras, ensaios rápidos, sendo que o autor do trabalho concluiu não haver diferença significativa entre os resultados. No Quadro 152 estão apresentados os dados de todas as estacas, mas as comparações serão realizadas apenas nas estacas de concreto.

Nas provas-de-carga realizadas por Menezes (1997), pode-se constatar que as parcelas correspondentes ao atrito lateral das estacas Pré-Moldadas apresentaram valores inferiores aos previstos através dos métodos que utilizam *SPT* e *CPT*. Provalvemente isto tenha ocorrido porque, devido à vibração na cravação da estaca, houve uma perda de atrito entre a mesma e o solo.

Tanto a estaca Pré-Moldada 6 como a Pré-Moldada 10 tiveram a primeira prova-de-carga interrompida. Assim, os resultados apresentados no Quadro 152, para essas estacas, foram os obtidos da segunda prova-de-carga de cada uma, sendo que houve um acréscimo na parcela de atrito lateral em torno de 25% a 48%, nas estacas 06 e 10, respectivamente. Os resultados da Pré-Moldada 18 foram obtidos da primeira prova-de-carga.

Comparando-se os resultados, nota-se que a parcela de atrito lateral da primeira prova-de-carga da Pré-Moldada 18 é inferior à metade dos valores obtidos nas segundas provas-de-carga das outras duas estacas, indicando que o atrito lateral na estaca Pré-Moldada 18 apresentou valores menores do que o estimado.

QUADRO 152 - Resultados das Provas-de-Carga Instrumentadas Realizadas no Campo Experimental da Unesp – Ilha-Solteira

Tipo Estaca	Diâm. Médio (m)	Comprimento (m)	Tipo de Ensaio	Lateral PL (kN) (q_s (kPa))	Ponta PP (kN) (q_p (kPa))	Total PR (kN) (q_u (kPa))
Apiloadada CON2 Compressão	0,20	6,00	Lento			150
Apiloadada SCC1 Compressão	0,20	6,00	Lento			96
Apiloadada SCP2 Compressão	0,20	6,00	Lento	-	-	108
Escavada CON1 Compressão	0,32	10,00	Lento	-	-	570
Escavada CON2 Compressão	0,32	10,00	Rápido	-	-	520
Escavada CON3 Compressão	0,32	10,00	Rápido	-	-	620
Escavada SCP1 Compressão	0,32	10,00	Lento	-	-	390
Escavada SCP2 Compressão	0,32	10,00	Rápido	-	-	320
Escavada SCP3 Compressão	0,32	10,00	Rápido	-	-	300
Pré-Moldada 6 Compressão	0,17 x 0,17	11,40	Lento	172 (21,1)	68 (2352,9)	240 (2374,0)
Pré-Moldada 10 Compressão	0,17 x 0,17	11,40	Lento	175 (21,4)	95 (3287,2)	270 (3308,6)
Pré-Moldada 18 Compressão	0,17 x 0,17	11,40	Lento	81 (9,9)	99 (3425,6)	180 (3435,5)
Pré-Moldada 3 Tração	0,17 x 0,17	11,40	Lento	28 (3,4)	-	28 (3,4)
Pré-Moldada 8 Tração	0,17 x 0,17	11,40	Lento	69 (8,5)	-	69 (8,5)
Pré-Moldada 20 Tração	0,17 x 0,17	11,40	Lento	54 (6,6)	-	54 (6,6)

Decourt (1996)

Utilizaram-se os seguintes coeficientes:

- $K = 350 \text{ kN/m}^2$
- Apiloada: adotando-se a média entre as estacas Pré-Moldada e Escavada, $\alpha = 0,75$ e $\beta = 0,75$;
- Escavada: $\alpha = 0,50$ e $\beta = 0,50$;
- Pré-Moldada: $\alpha = 1,00$ e $\beta = 1,00$;

Os resultados estão apresentados no Quadro 153.

QUADRO 153 - Resultados através de Decourt (1996) – Unesp – Ilha Solteira

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Apiloada CON2 Compressão	58	25	83	-	-	0,55
Escavada CON1 Compressão	113	83	196	-	-	0,34
Escavada CON2 Compressão	113	83	196	-	-	0,38
Escavada CON3 Compressão	113	83	196	-	-	0,32
Pré-Moldada 6 Compressão	194	67	261	1,13	0,99	1,09
Pré-Moldada 10 Compressão	194	67	261	1,11	0,71	0,97
Pré-Moldada 18 Compressão	194	67	261	2,40	0,68	1,45

Observando-se o Quadro 153, nota-se que o método sub-dimensiona a carga de ruptura para as estacas Escavadas. Provavelmente isto se deva a dois fatores: primeiro porque o solo desse Campo Experimental perde a adesão quando submetido a vibração, resultando em torque e N_{eq} inferiores aos valores esperados (comparando-se com o resultados do ensaio *CPT*) e, segundo,

também porque os coeficientes α e β diminuem pela metade as duas parcelas da ponta e do atrito lateral.

Por outro lado, o método demonstrou-se adequado para estaca Pré-Moldada quando considerados os resultados da segunda prova-de-carga. Na comparação com os da Estaca 18, Decourt(1996) extrapola o valor da parcela de atrito lateral, indicando, assim, que, nessa estaca, deve ter ocorrido uma perda de resistência lateral.

Alonso (1996a) e (1996b)

Foram consideradas as seguintes expressões para os cálculos da parcela de atrito lateral das estacas:

- Apiloada: adotando-se a expressão de estaca Pré-Moldada, $q_s = r\lambda = fT/1,5$;
- Escavada: adotando-se a expressão para estaca escavada com Lama Bentonítica, $q_s = r\lambda = fT_{m\acute{a}x} / 1,7$;
- Pré-Moldada: adotando-se a expressão para $q_s = r\lambda = fT/1,5$.

Os resultados estão apresentados no Quadro 154.

Nesse caso, o método é conservador para as estacas Escavadas e Apiloadas e, mais uma vez, variável para as estacas Pré-Moldadas, em função da prova-de-carga. Cabe ressaltar que, nos demais Campos Experimentais, este método apresentou-se sistematicamente conservador, e aqui, no que se refere a estacas Pré-Moldadas, levou a resultados mais próximos dos valores das provas-

de-carga, confirmando, novamente, que, nesse local, o *SPT-T* representa melhor a reação do solo à cravação de uma estaca.

QUADRO 154 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b)– Unesp – Ilha Solteira

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Apiloada CON2 Compressão	37	47	84	-	-	0,56
Escavada CON1 Compressão	116	207	323	-	-	0,57
Escavada CON2 Compressão	116	207	323	-	-	0,62
Escavada CON3 Compressão	116	207	323	-	-	0,52
Pré-Moldada 6 Compressão	182	85	267	1,06	1,25	1,11
Pré-Moldada 10 Compressão	182	85	267	1,04	0,89	0,99
Pré-Moldada 18 Compressão	182	85	267	2,25	0,86	1,48

Carvalho et al. (1998)

Foram considerados os seguintes coeficientes:

Escavada: adotando-se $\alpha_T = 0,60$ e $\alpha = 0,95$;

Pré-Moldada: adotando-se $\alpha_T = 0,55$ e $\alpha = 0,90$.

Os resultados estão apresentados no Quadro 155.

Ao contrário dos outros Campos Experimentais, onde esse método levou a previsões satisfatórias para estacas escavadas, aqui os resultados foram conservadores, indicando novamente que houve uma perda de atrito causada pela

vibração na cravação do amostrador. Para as estacas Pré-Moldadas os resultados foram satisfatórios e, ainda uma vez o atrito lateral da Estaca 18 foi excessivo.

QUADRO 155 - Resultados através de Carvalho et al. (1998) – Unesp – Ilha Solteira

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Escavada CON1 Compressão	180	186	366	-	-	0,64
Escavada CON2 Compressão	180	186	366	-	-	0,70
Escavada CON3 Compressão	180	186	366	-	-	0,59
Pré-Moldada 6 Compressão	160	47	207	0,93	0,69	0,86
Pré-Moldada 10 Compressão	160	47	207	0,91	0,49	0,77
Pré-Moldada 18 Compressão	160	47	207	1,98	0,47	1,15

9.1.6 – Campo Experimental da Escola Politécnica – USP – São Paulo (SP)

Os resultados das provas-de-carga apresentados neste item foram obtidos da interpretação dos dados publicados pela ABEF (1989) e estão demonstrados no Quadro 156.

Para as estacas Barrete, Pré-Moldada PRE2, Injetada de Pequeno Diâmetro e Metálica foi possível obterem-se as cargas de ruptura através da curva carga-recalque resultante da prova-de-carga. Para as outras estacas, chegou-se

às cargas de ruptura através do critério de Van der Veen (1953), sendo que nas estacas de deslocamento também foram consideradas as interpretações realizadas por Decourt e Niyama (1994).

**QUADRO 156 - Resultados das Provas-de-Carga Realizadas no Campo
Experimental da ABEF / Politécnica - USP**

Tipo Estaca	Diâm. Médio (m)	Compr. (m)	Tipo de ensaio	Lateral PL (kN) (q_s (kPa))	Ponta PP (kN) (q_p (kPa))	Total PR (kN) (q_u (kPa))	Máxima P_{MÁX} (kN)
Hélice Contínua HCL4 Compressão	0,35	6,675	rápido	-	-	643*	640
Hélice Contínua HCL6 compressão	0,425	7,187	rápido	-	-	822*	820
Franki FRA1 compressão	0,40	4,581	lento	-	-	2329* ◇	1910
Franki FRA2 compressão	0,40	4,617	rápido	-	-	2243* ◇	2240
Escavada Grande Diâmetro EST2 compressão	0,70	6,596	rápido	-	-	2461*	2240
Barrete BAR1 compressão	1,65 x 0,40	7,00	rápido	2870 (100,0)	2130 (3227,3)	5000 (3327,3)	5000
Pré-Moldada PRE2 compressão	0,50 (0,32)	8,68	rápido	- 1000 ◇ (73,3)	- 2000 ◇ (17256,3)	3200 3000 ◇ (17329,6)	3200
Injetada Pequeno Diâmetro M4 compressão	0,127	6,478	rápido	840 (325,0)	60 (4736,5)	900 1213* (5061,5)	900
Metálica MET1 compressão	1 10"	5,364	rápido	- 240 ◇ (46,3)	- 30 ◇ (6237,0)	270 270 ◇ (6283,3)	270
Strauss STR1 compressão	0,32	7,30	rápido	-	-	905*	900
* Van Der Veen (1953) ◇ Decourt e Niyama (1994)							

Decourt (1996)

Foram utilizados os seguintes coeficientes:

- $K = 250 \text{ kN/m}^2$
- Hélice-Contínua: $\alpha = 0,30$ e $\beta = 1,00$;
- Franki: $\alpha = 1,00$ e $\beta = 1,00$;
- Escavada de Grande Diâmetro: $\alpha = 0,60$ e $\beta = 0,65$;
- Barrete: adotando-se os valores de escavada com lama bentonítica, $\alpha = 0,60$ e $\beta = 0,75$;
- Pré-Moldada: $\alpha = 1,00$ e $\beta = 1,00$;
- Injetada de Pequeno Diâmetro: $\alpha = 1,00$ e $\beta = 3,00$;
- Metálica: $\alpha = 1,00$ e $\beta = 1,00$;
- Strauss: adotando-se valores correspondentes à média dos coeficientes para estaca Pré-Moldada e Escavada, $\alpha = 0,75$ e $\beta = 0,75$.

Nos resultados apresentados no Quadro 157, nota-se que as relações PR_{CAL}/PR foram não-conservadoras para este método, independentemente da interpretação da prova-de-carga.

Os resultados mais adequados foram os obtidos para as estacas do tipo Escavada de Grande Diâmetro, Barrete e Injetada de Pequeno Diâmetro. Nos outros tipos de estaca o método não se mostrou adequado pois levou a previsões iguais ao dobro da carga-de-ruptura, valores esses muito perigosos, uma vez que a carga de trabalho é considerada a carga-de-ruptura dividida por dois, resultando em: carga-de-trabalho igual a carga-de-ruptura.

QUADRO 157 - Resultados de Decourt (1996) – Politécnica - USP

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Hélice Contínua HCL4 Compressão	796	272	1068	-	-	1,66*
Hélice Contínua HCL6 compressão	966	400	1366	-	-	1,66*
Franki FRA1 compressão	586	4236	4822	-	-	2,07* ◇
Franki FRA2 compressão	586	4236	4822	-	-	2,15* ◇
Escavada Grande Diâmetro EST2 compressão	1034	2172	3206	-	-	1,30*
Barrete BAR1 compressão	2225	3727	5952	0,78	1,75	1,19
Pré-Moldada PRE2 compressão	1370	1108	2478	- 1,37 ◇	- 0,55 ◇	1,65 0,83 ◇
Injetada Pequeno Diâmetro M4 compressão	866	119	985	1,03 -	1,98 -	1,09 0,81*
Metálica MET1 compressão	571	40	611	- 2,40 ◇	- 1,33 ◇	2,26 2,26 ◇
Strauss STR1 compressão	927	971	1898	-	-	2,10*
* Van Der Veen (1953) ◇ Decourt e Niyama (1994)						

Alonso (1996a) e (1996b)

Foram consideradas as seguintes expressões para os cálculos da parcela de atrito lateral das estacas:

- Hélice Contínua: $qs = r\lambda = 0,65 \cdot fT \leq 200kPa$;
- Franki: adotando-se os valores de estaca Pré-Moldada, $qs = r\lambda = fT_{máx} / 1,5$;

- Escavada de Grande Diâmetro: adotando-se os valores de Escavada com Lama Bentonítica, $qs = r\lambda = fT / 1,7$;
- Barrete: adotando-se os valores de Escavada com Lama Bentonítica, $qs = r\lambda = fT / 1,7$;
- Pré-Moldada: $qs = r\lambda = fT_{m\acute{a}x} / 1,5$;
- Injetada de Pequeno Diâmetro: adotando-se os valores de estaca Raiz, $qs = r\lambda = 1,15 \cdot fT$;
- Metálica: adotando-se os valores de estaca Pré-Moldada, $qs = r\lambda = fT_{m\acute{a}x} / 1,5$;
- Strauss: adotando-se a expressão para estaca Escavada com Lama Bentonítica, $qs = r\lambda = fT / 1,7$;

Os resultados estão apresentados no Quadro 158.

Para esse Campo Experimental, as previsões da carga de ruptura levaram a resultados não conservadores, tornando sua utilização não adequada. Este método considera a utilização do valor fT , e nesse Campo Experimental os torques obtidos são altos, maiores do que 200 kN.m desde o primeiro metro, induzindo a adesões solo-amostrador também altas.

O próprio autor recomenda que, para as estacas Hélices-Contínuas, quando o fT for maior do que 200kPa, deva ser utilizado 200kPa. Mesmo sendo adotado este critério, a relação para essa estaca foi da ordem de 1,66 (valor muito alto). Por outro lado, também deve ser considerado que, na interpretação das provas-de-carga para essas estacas, foi utilizado o critério de Van der Veen

(1953), critério este que tem se mostrado conservador, aumentando ainda mais a relação PR_{CAL}/PR .

QUADRO 158 - Resultados através de Alonso (1996a) e (1996b) – Politécnica - USP

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Hélice Contínua HCL4 Compressão	219	1261	1480	-	-	2,30*
Hélice Contínua HCL6 compressão	267	930	1197	-	-	1,46*
Franki FRA1 compressão	613	2799	3412	-	-	1,46* ◇
Franki FRA2 compressão	613	2799	3412	-	-	1,52* ◇
Escavada Grande Diâmetro EST2 compressão	1487	2555	4037	-	-	1,64*
Barrete BAR1 compressão	446	4373	4819	0,16	2,05	0,96
Pré-Moldada PRE2 compressão	1682	916	2598	- 1,68 ◇	- 0,46 ◇	1,73 0,87◇
Injetada Pequeno Diâmetro M4 compressão	528	84	612	0,63 -	1,40 -	0,68 0,50*
Metálica MET1 compressão	602	29	631	- 2,51 ◇	- 0,97 ◇	2,33 2,33 ◇
Strauss STR1 compressão	680	533	1213	-	-	1,34
* Van Der Veen (1953) ◇ Decourt e Niyama (1994)						

Carvalho et al. (1998)

Foram considerados os seguintes coeficientes:

- Hélice Contínua: adotando-se os valores sugeridos para estaca Escavada mecanicamente, $\alpha_T = 1,35$ e $\alpha = 0,90$;
- Franki: adotando-se os valores sugeridos para estaca Pré-Moldada, $\alpha_T = 0,55$ e $\alpha = 0,90$;
- Escavada de Grande Diâmetro: adotando-se os valores sugeridos para estaca Escavada mecanicamente, $\alpha_T = 1,35$ e $\alpha = 0,90$;
- Barrete: adotando-se os valores sugeridos para estaca Escavada mecanicamente, $\alpha_T = 1,35$ e $\alpha = 0,90$;
- Pré-Moldada: $\alpha_T = 0,55$ e $\alpha = 0,90$;
- Injetada de Pequeno Diâmetro: adotando-se os valores de estacas Strauss, $\alpha_T = 1,10$ e $\alpha = 1,15$;
- Metálica: adotando-se os valores de estaca Pré-Moldada, $\alpha_T = 0,55$ e $\alpha = 0,90$;
- Strauss: $\alpha_T = 1,10$ e $\alpha = 1,15$;

Os resultados estão apresentados no Quadro 159.

Novamente as previsões levaram a resultados não conservadores, demonstrando não ser esse método também adequado para esse Campo Experimental.

QUADRO 159 - Resultados de Carvalho et al. (1998) –Politécnica - USP

Tipo Estaca	Lateral PL_{CAL} (kN)	Ponta PP_{CAL} (kN)	Total PR_{CAL} (kN)	Lateral $\frac{PL_{CAL}}{PL}$	Ponta $\frac{PP_{CAL}}{PP}$	Total $\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Hélice Contínua HCL4 Compressão	1628	574	2202	-	-	3,42*
Hélice Contínua HCL6 compressão	2128	846	2974	-	-	4,13*
Franki FRA1 compressão	466	2519,1	2986	-	-	1,28* ◇
Franki FRA2 compressão	467	2519,1	2986	-	-	1,33* ◇
Escavada Grande Diâmetro EST2 compressão	3217	2295	5512	-	-	2,24*
Barrete BAR1 compressão	3936	6365	10301	1,37	2,99	2,06
Pré-Moldada PRE2 compressão	1338	824	2162	- 1,34 ◇	- 0,41 ◇	1,44 0,72 ◇
Injetada Pequeno Diâmetro M4 compressão	467	97	564	-	-	0,63 0,46*
Metálica MET1 compressão	444	26	470	- 1,85 ◇	- 0,87	1,75 1,75 ◇
Strauss STR1 compressão	1326	613	1939	-	-	2,14*
* Van Der Veen (1953) ◇ Decourt e Niyama (1994)						

9.1.7 – Análises Gerais do Emprego de Metodologias para a Previsão da Capacidade-de-carga de Estacas

Neste item estão sendo expostos, não apenas os métodos para previsão de capacidade-de-carga de estacas através dos resultados do ensaio *SPT-T*, mas também aqueles métodos já consagrados pela comunidade geotécnica brasileira:

- Decourt e Quaresma (1978), que utilizam resultados do *SPT*;

- Aoki e Velloso (1975), que utilizam tanto resultados do *SPT*, como do *CPT*;
- Decourt (1996), que propôs parâmetros α e β para diferentes tipos de estacas e utiliza resultados tanto do *SPT*, como do *SPT-T*;
- Philipponat (1978).

Essa análise visa mostrar a relação existente entre as previsões obtidas através dos diferentes métodos e os resultados das provas-de-carga.

No Quadro 160 estão apresentados os resultados dos cálculos das capacidades-de-carga de estacas que utilizam o ensaio *SPT-T* e suas relações com os resultados das provas-de-carga. No Quadro 161, estão apresentados os cálculos obtidos através dos métodos que tomam por base os resultados dos ensaios *SPT* e *CPT*.

Foram utilizados os resultados de cone elétrico para os cálculos das capacidades-de-carga que utilizam *CPT* nos Campos Experimentais da Feagri-Unicamp, Unesp-Bauru e EESC-USP, embora o método de Aoki e Velloso (1975) tenha sido inicialmente proposto para *CPT*, utilizando luva de Begemann e o método de Philipponat (1978), empregando o cone Delft.

Observando-se os dois quadros, conclui-se que os métodos empregados atualmente na prática ainda produzem grandes variações nas previsões de capacidade-de-carga, quando analisados genericamente. Isto porque, um método proposto para um determinado tipo de estaca, em um determinado tipo de solo, utilizando os resultados de um ensaio específico, logicamente não fornecerá bons resultados quando aplicado de forma mais ampla.

QUADRO 160 - Resultados dos métodos para previsões de capacidade-de-carga de estacas utilizando o SPT-T

Estaca	Cidade do Campo Experimental	Características			Prova-de-carga			SPT - T								
		ϕ (m)	L (m)	L _{SOLO} (m)	PP (kN)	PL (kN)	PR (kN)	Decourt (1996)			Alonso (1996)			Carvalho <i>et al.</i> (1998)		
								PP _{CAL} PP	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR	PP _{CAL} PP	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR	PP _{CAL} PP	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR
Pré-Moldada	Campinas	0,18	14,0	12,5	43	219	262	1,14	0,85	0,90	1,00	0,59	0,66	0,37	0,80	0,73
	Ilha Solteira	0,178	13,0	12,0	87	143	230	0,77	1,36	1,13	0,98	1,27	1,16	0,54	1,12	0,90
	São Paulo	0,50 ³²	9,03	8,68	2000 $\diamond$	1000 $\diamond$	3000 $\diamond$	0,55	1,37	1,21	0,46	1,68	0,87	0,41	1,34	0,72
Escavada	Campinas	0,45	12,0	12,0	14	680	694	13,29	0,45	0,71	19,00	0,42	0,80	11,64	0,97	1,19
	São Carlos	0,35	10,0	9,1	92	292	384	1,46	0,39	0,66	1,88	0,45	0,79	1,70	1,07	1,22
		0,40	10,0	9,1	130	347	477	1,35	0,37	0,64	2,72	0,43	0,78	1,57	1,02	1,18
		0,50	10,0	9,1	230	464	694	1,19	0,35	0,63	1,53	0,40	0,76	1,38	0,96	1,10
	Ilha Solteira	0,32	10,0	10,0	-	-	570	-	-	0,34	-	-	0,57	-	-	0,64
	São Paulo	0,70	7,5	6,59 ⁶	-	-	2461*	-	-	1,30	-	-	1,64	-	-	2,24
Hélice-contínua	Campinas	0,40	12,0	12,0	62	823	885	1,19	0,51	0,55	2,65	1,05	0,48	2,08	0,71	0,81
	São Paulo	0,35	7,5	6,67 ⁵	-	-	643*	-	-	1,66	-	-	2,30	-	-	3,42
		0,42 ⁵	7,5	7,18 ⁷	-	-	822*	-	-	1,66	-	-	1,46	-	-	3,62
Ômega	Campinas	0,39	12,0	12,0	199	1229	1428	1,17	0,99	1,02	1,01	0,40	0,48	0,65	0,48	0,50
Broca	Lavras	0,25	4,0	4,0	-	-	137*	-	-	0,69	-	-	0,93	-	-	1,01
		0,20	6,0	6,0	-	-	174*	-	-	0,63	-	-	0,99	-	-	0,86
		0,20	4,0	4,0	-	-	123	-	-	0,58	-	-	0,74	-	-	0,85
		0,15	6,0	6,0	-	-	140	-	-	0,54	-	-	0,87	-	-	0,77
		0,25	6,0	6,0	-	-	187	-	-	0,79	-	-	1,23	-	-	1,06
	São Carlos	0,25	6,0	6,0	-	-	142	-	-	0,56	-	-	0,74	-	-	0,80
Raiz	São Carlos	0,25	16,0	15,0	115	935	1050	1,53	0,76	0,84	1,71	0,75	0,85	2,07	0,59	0,75
Strauss	São Carlos	0,38	10,0	9,4	-	-	653	-	-	0,65	-	-	0,53	-	-	0,79
	São Paulo	0,32	7,5	7,3	-	-	905*	-	-	2,10	-	-	1,34	-	-	2,14
Apiloadada	São Carlos	0,20	6,0	6,0	-	-	194	-	-	0,45	-	-	0,50	-	-	-
		0,20	9,0	9,0	-	-	279	-	-	0,59	-	-	0,51	-	-	-
	Bauru	0,25	4,0	3,5	20	80	100	1,20	0,81	0,89	2,10	0,21	0,70	-	-	-
		0,25	7,0	6,5	88	143	231	0,42	0,51	0,48	0,94	0,24	0,42	-	-	-
		0,25	10,0	9,5	57	233	290	0,79	0,47	0,53	2,11	0,27	0,53	-	-	-
	Ilha Solteira	0,20	6,0	6,0	-	-	150	-	-	0,55	-	-	0,56	-	-	-
Franki	São Paulo	0,40	5,0	4,58 ¹	-	-	2329 $\diamond$ *	-	-	2,07	-	-	1,46	-	-	1,28
		0,40	5,0	4,61 ⁷	-	-	2243 $\diamond$ *	-	-	2,15	-	-	1,52	-	-	1,33
Barrete	São Paulo	1,65x0,4	7,5	7,0	2130	2870	5000	1,75	0,78	1,19	2,05	0,16	0,96	2,99	1,37	2,06
Injetada	São Paulo	0,127	7,0	6,47 ⁶	-	-	1213*	-	-	0,81	-	-	0,50	-	-	0,46
Metálica	São Paulo	110"	6,0	5,36 ⁴	30 $\diamond$	240 $\diamond$	270 $\diamond$	1,33	2,40	2,26	0,97	2,51	2,33	0,87	1,85	1,75
* Van Der Veen $\diamond$ Decourt e Niyama (1994) 8 seção quadrada																

QUADRO 161 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas utilizando os ensaios SPT e CPT

Estaca	Cidade do Campo Experimental	Características						Prova-de-carga			SPT									CPT					
		ϕ (m)	L (m)	L _{SOLO} (m)	PP (kN)	PL (kN)	PR (kN)	Decourt e Quaresma (1978)			Aoki e Velloso (1975)			Decourt (1996)			Aoki e Velloso (1975)			Philipponat (1978)					
								PP _{CAL} PP	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR	PP _{CAL} PP	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR	PP _{CAL} PP	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR	PP _{CAL} PP	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR	PP _{CAL} PP	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR			
Pré-Moldada	Campinas	0,18	14,0	12,5	43	219	262	0,99	0,94	0,95	1,47	0,78	0,89	0,99	0,94	0,95	0,69	0,73	0,73	0,52	1,43	1,28			
	Ilha Solteira	0,178	13,0	12,0	87	143	230	0,97	1,53	1,32	1,11	1,67	1,46	0,97	1,53	1,32	1,07	3,12	2,35	0,54	2,76	1,92			
	São Paulo	0,50 ³²	9,03	8,68	2000 $\diamond$	1000 $\diamond$	3000 $\diamond$	0,46	1,13	0,68	0,46	1,11	0,68	0,46	1,13	0,68	0,38	1,67	0,81	0,32	2,18	0,94			
Escavada	Campinas	0,45	12,0	12,0	14	680	694	18,93	0,73	1,09	12,46	0,23	0,47	11,36	0,47	0,69	7,76	0,34	0,49	9,94	0,78	0,99			
	São Carlos	0,35	10,0	9,1	92	292	384	2,54	0,76	1,18	1,12	0,27	0,48	1,27	0,38	0,59	0,67	0,40	0,47	0,74	0,54	0,59			
		0,40	10,0	9,1	130	347	477	2,35	0,73	1,55	1,04	0,26	0,47	1,18	0,36	0,58	0,62	0,39	0,45	0,69	0,52	0,57			
		0,50	10,0	9,1	230	464	694	2,08	0,68	1,14	0,91	0,25	0,48	1,04	0,34	0,57	0,55	0,36	0,42	0,61	0,49	0,53			
	Ilha Solteira	0,32	10,0	10,0	-	-	570	-	-	0,81	-	-	0,35	-	-	0,41	-	-	0,51	-	-	0,82			
São Paulo	0,70	7,5	6,59 ⁶	-	-	2461*	-	-	1,47	-	-	0,81	-	-	0,91	-	-	1,03	-	-	1,39				
Hélice-contínua	Campinas	0,40	12,0	12,0	62	823	885	3,39	0,53	0,73	4,45	0,33	0,62	1,01	0,53	0,57	2,77	0,51	0,66	1,77	0,57	0,66			
	São Paulo	0,35	7,5	6,67 ⁵	-	-	643*	-	-	1,84	-	-	2,16	-	-	1,14	-	-	2,88	-	-	2,51			
		0,42 ⁵	7,5	7,18 ⁷	-	-	822*	-	-	2,01	-	-	2,15	-	-	1,21	-	-	2,85	-	-	2,54			
Ômega	Campinas	0,39	12,0	12,0	199	1229	1428	1,00	0,35	0,44	1,32	0,22	0,37	1,00	1,04	1,04	0,83	0,33	0,40	0,53	0,55	0,55			
Broca	Lavras	0,25	4,0	4,0	-	-	137*	-	-	1,38	-	-	0,39	-	-	0,86	-	-	-	-	-	-			
		0,20	6,0	6,0	-	-	174*	-	-	0,89	-	-	0,31	-	-	0,57	-	-	-	-	-	-			
		0,20	4,0	4,0	-	-	123	-	-	1,05	-	-	0,31	-	-	0,60	-	-	-	-	-	-			
		0,15	6,0	6,0	-	-	140	-	-	0,77	-	-	0,26	-	-	0,49	-	-	-	-	-	-			
		0,25	6,0	6,0	-	-	187	-	-	1,12	-	-	0,39	-	-	0,71	-	-	-	-	-	-			
	São Carlos	0,25	6,0	6,0	-	-	142	-	-	1,08	-	-	0,33	-	-	0,54	-	-	0,28	-	-	0,81			
Raiz	São Carlos	0,25	16,0	15,0	115	935	1050	2,06	0,52	0,54	1,78	0,34	0,50	1,03	0,53	0,59	0,92	0,45	0,50	0,77	0,31	0,36			
Strauss	São Carlos	0,38	10,0	9,4	-	-	653	-	-	0,81	-	-	0,32	-	-	0,81	-	-	0,26	-	-	0,54			
	São Paulo	0,32	7,5	7,3	-	-	905*	-	-	1,19	-	-	0,64	-	-	1,19	-	-	0,69	-	-	1,59			
Apiloadas	São Carlos	0,20	6,0	6,0	-	-	194	-	-	0,58	-	-	0,17	-	-	0,44	-	-	0,14	-	-	0,61			
		0,20	9,0	9,0	-	-	279	-	-	0,66	-	-	0,23	-	-	0,49	-	-	0,24	-	-	0,62			
	Bauru	0,25	4,0	3,5	20	80	100	2,95	0,69	1,14	0,73	0,12	0,24	2,21	0,52	0,85	2,62	0,11	0,61	3,27	1,36	1,75			
		0,25	7,0	6,5	88	143	231	0,81	0,73	0,76	0,40	0,19	0,27	0,61	0,55	0,57	0,61	0,15	0,33	0,99	1,59	1,36			
		0,25	10,0	9,5	57	233	290	1,90	0,70	0,94	0,84	0,24	0,36	1,42	0,53	0,70	1,84	0,18	0,51	2,11	1,70	1,78			
Ilha Solteira	0,20	6,0	6,0	-	-	150	-	-	0,87	-	-	0,36	-	-	0,67	-	-	0,35	-	-	1,00				
Franki	São Paulo	0,40	5,0	4,58 ¹	-	-	2329 $\diamond$ *	-	-	1,37	-	-	1,01	-	-	1,37	-	-	0,33	-	-	0,44			
		0,40	5,0	4,61 ⁷	-	-	2243 $\diamond$ *	-	-	1,42	-	-	1,05	-	-	1,42	-	-	0,34	-	-	0,46			
Barrete	São Paulo	1,65x0,4	7,5	7,0	2130	2870	5000	2,05	0,74	1,30	1,15	0,40	0,72	1,23	0,56	0,84	1,28	0,64	0,91	1,53	0,87	1,15			
Injetada	São Paulo	0,127	7,0	6,47 ⁸	-	-	1213*	-	-	0,23	-	-	0,29	-	-	0,54	-	-	0,44	-	-	0,34			
Metálica	São Paulo	110 ⁹	6,0	5,36 ⁴	30 $\diamond$	240 $\diamond$	270 $\diamond$	0,95	1,53	1,47	0,97	1,59	1,52	0,95	1,53	1,47	0,86	2,02	1,90	0,67	2,34	2,16			
* Van Der Veen $\diamond$ Decourt e Niyama (1994) 8 seção quadrada																									

Comparando-se os resultados dos cálculos realizados através de Decourt (1996), utilizando-se o valor N , com os resultados obtidos através do mesmo método, mas utilizando-se Neq , percebe-se que, ao ser aplicado o Neq , há uma maior discrepância dos resultados das provas-de-carga para determinadas estacas, em determinados Campos Experimentais,.

Também é importante ressaltar a necessidade de incentivo a pesquisas que utilizem provas-de-carga instrumentadas. Em todas as metodologias aqui aplicadas, fica demonstrado que a avaliação apenas em função da carga-de-ruptura é enganosa, pois, mesmo nas previsões em que a relação PR_{CAL}/PR é próxima de um, quando são consideradas as parcelas do atrito lateral e da ponta, em separado, nota-se que, enquanto uma é super-dimensionada, a outra é conservadora.

Outro fator que deve ser considerado nessa análise é a variabilidade do mesmo método para um mesmo tipo de estaca. Para que o método forneça resultados seguros, o mesmo deve apresentar a mesma tendência de previsão (ser ou não conservadora) da capacidade-de-carga. Em outras palavras: mais vale um método sempre conservador para um mesmo tipo de estaca do que um método que forneça resultados médios satisfatórios mas, ora apresente previsões conservadoras, ora, previsões arriscadas.

Assim, nos Quadros 162 a 166 estão apresentados os cálculos dos coeficientes-de-variação para aqueles tipos de estacas que possuem três ou mais dados: Pré-Moldada; Escavada; Hélice-Contínua, Broca e Apiloadada. Como também foi observada uma certa variação nos resultados das provas-de-carga

para um mesmo tipo de estaca e em um mesmo local, foram utilizados os resultados médios dos Campos Experimentais para cada tipo de estaca, resultados esses já apresentados nos Quadros 160 e 161.

O Quadro 162 apresenta as médias, os desvios-padrão e os coeficientes-de-variação dos cálculos feitos nos oito métodos para as estacas Pré-Moldadas, nos quais se pode observar que os métodos propostos por Decourt (1996) e Alonso (1996a e 1996b), utilizando resultados do ensaio *SPT-T*, são os que apresentam menor variabilidade quando a análise é feita em função da carga-de-ruptura. Porém, quando se observam as parcelas de atrito lateral e ponta, nota-se uma variabilidade também desses métodos, embora, qualitativamente, os resultados de Decourt (1996) continuem sendo satisfatórios.

QUADRO 162 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Pré-Moldadas

Três dados Estacas Pré-Moldadas				
Ensaio Utilizado	Método	Média	Desvio-padrão	Coeficiente-de-variação
<i>SPT-T</i>	Decourt (1996)	1,08	0,16	14,8%
	Alonso (1996a e b)	0,89	0,25	28,1%
	Carvalho et al. (1998)	0,78	0,10	12,9%
<i>SPT</i>	Decourt e Quaresma (1978)	0,98	0,32	32,7%
	Aoki e Velloso (1975)	1,01	0,40	39,6%
	Decourt (1996)	0,98	0,32	32,6%
<i>CPT</i>	Aoki e Velloso (1975)	1,30	0,91	70,0%
	Philipponat (1978)	1,38	0,50	36,2%

Nota-se também no Quadro 162 que os três métodos que empregam os resultados *SPT* (índice de resistência *N*) levam a relações médias PR_{CAL}/PR satisfatórias, mas os coeficientes-de-variação são bem mais altos do que as

previsões obtidas por Decourt (1996) e Alonso (1996 a e b), muito embora, na prática, coeficientes-de-variação em torno de 30% devam também ser considerados adequados. Por outro lado, os resultados obtidos através dos métodos que utilizam o *SPT-T* apresentam uma menor variabilidade mas com previsões mais conservadoras.

Constam do Quadro 163 as análises estatísticas para as estacas Escavadas. Nesse caso os métodos utilizando os valores de índice de resistência, *N*, do ensaio *SPT*, são os que apresentam os menores coeficientes-de-variação, embora as médias de PR_{CAL}/PR obtidas segundo os métodos de Aoki e Velloso (1975) e Decourt (1996) sejam conservadoras. O método que resultou na melhor média e no menor coeficiente-de-variação, para este tipo de estaca, foi o de Decourt e Quaresma (1978).

QUADRO 163 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Escavadas

Seis dados de Estacas Escavadas				
Ensaio Utilizado	Método	Média	Desvio-padrão	Coeficiente-de-variação
<i>SPT-T</i>	Decourt (1996)	0,71	0,32	45,1%
	Alonso (1996a e b)	0,89	0,38	42,7%
	Carvalho et al. (1998)	1,26	0,53	42,1%
<i>SPT</i>	Decourt e Quaresma (1978)	1,21	0,27	22,3%
	Aoki e Velloso (1975)	0,51	0,16	31,4%
	Decourt (1996)	0,63	0,17	26,9%
<i>CPT</i>	Aoki e Velloso (1975)	0,56	0,23	41,1%
	Philipponat (1978)	0,82	0,33	40,2%

As análises estatísticas realizadas para a estaca do tipo Hélice-Contínua estão mostradas no Quadro 164. Aqui, o método sugerido por Decourt (1996)

utilizando o índice de resistência, N , foi o que, além de fornecer a relação PR_{CAL}/PR mais próxima do valor unitário, também apresentou o menor coeficiente-de-varição. Apesar disso, é importante destacar que o método resultou em previsão conservadora para a média das estacas executadas na Feagri (Unicamp) e não conservadora para as duas estacas da POLI/ABEF (USP), demonstrando assim, ainda não ser adequado para essa análise. Também deve-se ressaltar que, com exceção dos métodos de Decourt (1996) e Alonso (1996 a e b), os demais métodos não apresentam parâmetros para esse tipo de estaca, tendo neles sido adotados os parâmetros das estacas Escavadas.

QUADRO 164 - Coeficientes-de-varição para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Hélice-Contínuas

Três dados de Estacas Hélice-Contínuas				
Ensaio Utilizado	Método	Média	Desvio-padrão	Coeficiente-de-varição
SPT-T	Decourt (1996)	1,29	0,64	49,6%
	Alonso (1996a e b)	1,41	0,91	64,5%
	Carvalho et al. (1998)	2,62	1,57	59,9%
SPT	Decourt e Quaresma (1978)	1,53	0,70	45,8%
	Aoki e Velloso (1975)	1,64	0,89	54,3%
	Decourt (1996)	0,97	0,35	36,1%
CPT	Aoki e Velloso (1975)	2,13	1,27	59,6%
	Philipponat (1978)	1,90	1,08	56,8%

No Quadro 165 encontram-se as análises estatísticas para as estacas Broca. Não foram analisadas previsões utilizando os resultados de ensaios *CPT* porque a maioria das estacas foram executadas no Campo Experimental da Universidade de Lavras, onde esse tipo de ensaio não se realizou.

Os coeficientes-de-variação calculados para as relações PR_{CAL}/PR dos métodos que utilizam resultados tanto do índice de resistência N , como do valor de torque T , foram satisfatórios. Contudo, o coeficiente-de-variação mais adequado é o sugerido por Carvalho *et al* (1998), por dois motivos: primeiro, por também apresentar média próxima ao valor unitário, muito embora tenha sido desenvolvido para a argila porosa de dois locais da cidade de Brasília, um de origem residual (UnB) e outro de origem transportada (Metrô); segundo, apesar dos solos da UFLA e da EESC serem arenosos, os quatro locais possuem como característica comum a alta porosidade.

QUADRO 165 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Broca

Seis dados de Estacas Broca				
Ensaio Utilizado	Método	Média	Desvio-padrão	Coeficiente-de-variação
SPT-T	Decourt (1996)	0,63	0,09	14,9%
	Alonso (1996a e b)	0,92	0,18	19,5%
	Carvalho <i>et al.</i> (1998)	0,89	0,12	13,5%
SPT	Decourt e Quaresma (1978)	1,05	0,21	20,0%
	Aoki e Velloso (1975)	0,33	0,05	15,2%
	Decourt (1996)	0,63	0,14	22,2%

No Quadro 166 estão apresentadas as análises estatísticas das relações PR_{CAL}/PR das estacas Apiloadas. O método de Carvalho *et al* (1998) não foi analisado por não sugerir parâmetros para esse tipo de estaca. Decourt e Quaresma (1978) foi o método que levou a resultados mais adequados para a previsão da capacidade-de-carga.

Por outro lado, fazendo-se uma adaptação no método de Alonso (1996a) e sugerindo-se que $qs = r\lambda = fT_{\text{máx}} \cdot 1,5$, chega-se à relação $PR_{\text{CAL}}/PR = 0,81$ com coeficiente-de-variação igual a 11,1%.

QUADRO 166 - Coeficientes-de-variação para a relação PR_{CAL}/PR das estacas Apiloadas

Seis dados de Estacas Apiloadas				
Ensaio Utilizado	Método	Média	Desvio-padrão	Coeficiente-de-variação
SPT-T	Decourt (1996)	0,58	0,16	27,6%
	Alonso (1996a e b)	0,54	0,09	16,7%
SPT	Decourt e Quaresma (1978)	0,83	0,20	24,1%
	Aoki e Velloso (1975)	0,27	0,08	29,6%
	Decourt (1996)	0,62	0,15	24,2%
CPT	Aoki e Velloso (1975)	0,36	0,17	47,2%
	Philipponat (1978)	1,19	0,53	44,5%

A grande variação de resultados, ora contra ora a favor da segurança, indica a necessidade de que aprimoramentos sejam continuamente realizados. Neste sentido, a adição de um novo parâmetro, ou seja, a medida do torque, pode vir a ser uma ferramenta muito útil, principalmente para se prever o comportamento de estacas de deslocamento, uma vez que o ensaio fornece um parâmetro de atrito lateral obtido após a cravação de um elemento (no caso, o amostrador de sondagem).

Por isso, esse estudo continua no próximo capítulo com uma sugestão para os parâmetros da metodologia sugerida por Ranzini (2000), além de uma sugestão de cálculo de previsão de capacidade-de-carga.

10. NOVAS PROPOSTAS PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE-DE-CARGA DE ESTACAS ATRAVÉS DO *SPT-T*

Apresenta-se nesse capítulo um estudo da metodologia de Ranzini (2000) com proposta de coeficientes empíricos, obtidos nesta pesquisa, através das provas-de-carga instrumentadas. Apresenta-se também uma nova proposta, desenvolvida com base nos resultados dos ensaios realizados e das provas-de-carga analisadas.

10.1 – ESTUDO DA METODOLOGIA PROPOSTA POR RANZINI (2000)

Ranzini (2000) sugeriu uma nova metodologia em que são utilizados os valores da adesão-atrito solo-amostrador calculados através da equação (45) já

apresentada no Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica, e que aqui é apresentada de maneira resumida visando apenas facilitar a compreensão do procedimento utilizado para a obtenção dos parâmetros sugeridos por aquele autor.

$$f_T = \frac{T}{(40,5366 * h - 17,4060)} \quad (45)$$

em que: f_T = tensão de atrito lateral (kgf/cm²)

T = torque máximo (cm.kgf)

h = penetração do amostrador (cm)

Os valores de f_T para todos os ensaios *SPT-T* realizados para essa pesquisa estão apresentados no Anexo B.

A carga de ruptura é calculada segundo o procedimento a seguir:

$$PR = PL + PP \quad (46)$$

em que: PR é a carga de ruptura ou capacidade-de-carga

PL é a parcela transmitida por atrito lateral

PP é a parcela transmitida pela ponta

Sendo:

$$PL = s_\lambda * f_\lambda * A_\lambda \quad (47)$$

em que: s_λ é coeficiente empírico

f_λ é tensão de atrito lateral no fuste da estaca

A_λ é a área da superfície lateral, enterrada, da estaca

$$PP = s_p * f_p * A_p \quad (48)$$

em que: s_p é coeficiente empírico

f_p é tensão na ponta da estaca

A_p é a área da seção transversal da ponta da estaca

Para o cálculo da tensão de atrito lateral, f_{λ} , Ranzini (2000) sugeriu a utilização do atrito lateral medido pelo torque residual, uma vez que para ocorrer a mobilização do atrito lateral da estaca a mesma já sofreu um certo deslocamento.

$$f_{\lambda} = \frac{\sum \Delta \lambda_i * f_{Tres_i}}{\sum \Delta \lambda_i} \quad (49)$$

em que: $\Delta \lambda_i$ é o comprimento do trecho elementar de ordem "i" do fuste;

f_{Tres_i} é a tensão de atrito lateral residual medida pelo torquímetro na altura do trecho elementar de ordem "i" do fuste.

Para o cálculo da tensão na ponta, adotou-se, como critério, que a carga transmitida pela ponta seria calculada pelos valores de tensão do torque atuantes numa zona abrangendo uma altura de apenas um metro para cima e um metro para baixo da base, considerando-se, neste caso, os valores de torque máximo:

$$f_p = \frac{(f_{Tmáx_{i-1}} + 2 * f_{Tmáx_i} + f_{Tmáx_{i+1}})}{4} \quad (50)$$

em que:

$f_{Tmáx_i}$ é tensão máxima obtida do torquímetro na cota da base;

$f_{Tmáx_{i-1}}$ é tensão máxima obtida do torquímetro um metro acima da cota da base;

$f_{Tmáx_{i+1}}$ é tensão máxima obtida do torquímetro um metro abaixo da cota da base

Segundo Ranzini (2000), esses coeficientes empíricos s_{λ} e s_p devem ser obtidos através da comparação com provas-de-carga instrumentadas levadas à ruptura. Assim, para os diferentes tipos de estacas, foram comparados os resultados de *PL* e *PP* com as parcelas de atrito lateral e carga na ponta obtidos das provas-de-carga nos diferentes Campos Experimentais. Os cálculos

apresentados no Quadro 167 foram realizados apenas para as estacas nas quais as provas-de-carga instrumentadas foram levadas até a ruptura. Para os tipos de estacas não-instrumentadas, foram sugeridos valores considerando-se seus métodos executivos e tomando como base os valores obtidos para os tipos de estacas instrumentadas.

Apesar de a estaca Franki ser de deslocamento, sugere-se a adoção do coeficiente empírico, sp , igual a doze, e não cinquenta e cinco como na estaca Pré-Moldada porque, nesta estaca o cálculo da área da ponta é realizado em função do volume do bulbo da estaca, o que leva a valores notadamente muito altos.

Observando-se os coeficientes empíricos obtidos nessa pesquisa e apresentados no Quadro 167, percebe-se claramente que a metodologia proposta por Ranzini (2000) para o cálculo da parcela de atrito lateral conduz, do ponto de vista prático, a resultados indicativos da possibilidade de se correlacionar a adesão solo-amostrador, fT , com PL , uma vez que os coeficientes-de-variação para $s\lambda$ foram baixos, considerando-se o tipo de ensaio.

Por outro lado, no que se refere à parcela da ponta, os valores obtidos para um mesmo tipo de estaca variam muito (mesmo num mesmo tipo de solo). Este fato já foi observado no capítulo anterior e ocorre porque, enquanto a parcela de atrito lateral é calculada em função de um valor médio ao longo do fuste, a parcela de ponta é praticamente pontual (apesar de levar em conta os dados obtidos um metro acima e um metro abaixo da base), sendo assim, influenciada pela própria variabilidade do solo.

Além disso, Ranzini (2000) sugeriu que a parcela da ponta fosse calculada em função do $T_{m\acute{a}x}$, que é um valor obtido através de uma solicitação em direção diferente àquela em que a ponta da estaca é submetida.

QUADRO 167 - Valores dos coeficientes empíricos $s\lambda$ e sp estimados para Ranzini (2000)

Estaca	Cidade do Campo Experimental	Parâmetros empíricos		média		Coeficiente-de-variação		Valores Sugeridos	
		$s\lambda$	sp	$s\lambda$	sp	$s\lambda$ (%)	sp (%)	$s\lambda$	sp
Pré-moldada	Campinas	1,9	29,8	2,1	68,3	32,0	41,9	2,0	60,0
	Ilha Solteira	2,6	63,2						
		2,7	88,2						
		1,3	92,0						
Escavada	Campinas	2,5	0,3	2,2	12,1	7,8	96,9	2,0	12,0
		2,3	1,4						
		2,3	2,8						
	São Carlos	2,0	20,5						
		2,1	22,2						
		2,2	25,2						
Hélice-contínua	Campinas	3,4	13,5	3,2	8,7	14,6	59,6	3,0	9,0
		3,6	9,4						
		2,7	3,2						
Ômega	Campinas	5,6	24,9	5,0	29,3	10,6	40,4	5,0	30,0
		4,6	42,7						
		4,8	20,3						
Apiloadada	Bauru	14,9	42,9	11,5	21,6	74,3	74,9	11,0	22,0
		11,6	128,0						
		9,7	114,0						
		9,6	12,2						
Barrete	São Paulo	0,8	14,7	-	-	-	-	1,0	15,0
Raiz	São Carlos	2,6	19,5	-	-	-	-	3,0	19,0
Metálica	São Paulo	0,4	31,5	-	-	-	-	0,5	30,0
Broca	-	-	-	-	-	-	-	2,0	12,0
Injetada	-	-	-	-	-	-	-	3,0	20,0
Franki	-	-	-	-	-	-	-	2,0	12,0
Strauss	-	-	-	-	-	-	-	2,0	12,0

Também deve-se considerar que os valores aqui encontrados são apenas indicativos, uma vez que o número de provas-de-carga instrumentadas para cada tipo de estaca é pequeno. No Quadro 168 estão apresentadas os cálculos das

previsões de capacidade-de-carga através de Ranzini (2000) com os coeficientes empíricos sugeridos no Quadro 167.

Ao se analisar o Quadro 168, deve-se dar maior importância às estacas cujas provas-de-carga não foram instrumentadas, pelo fato de os coeficientes empíricos terem sido obtidos em função das parcelas de atrito lateral e ponta obtidas das estacas instrumentadas, e, por isso, ao se avaliar as relações PR_{CAL}/PR para essas estacas, resultaria numa análise circular (*análise tendenciosa*).

A estaca Pré-Moldada apresentou diferentes relações para os três Campos Experimentais, sendo que a ponta forneceu valores inadequados, mesmo nas estacas utilizadas no cálculo do coeficiente *sp*. A parcela de atrito lateral mostrou-se adequada, principalmente considerando-se a de Ilha Solteira onde o torque representou o que realmente ocorreu com a adesão solo-estaca após a cravação da estaca, ou seja, perda de atrito lateral por drapejamento.

Por outro lado, o resultado para a estaca de São Paulo, utilizando-se os coeficientes obtidos através das estacas de Ilha Solteira e Campinas, foi muito conservador. Provavelmente isto tenha ocorrido porque a estaca de São Paulo é de grande diâmetro e a caracterização do solo ser diferente dos outros dois locais, não ocorrendo a perda de atrito por drapejamento ocorrida nas outras duas estacas analisadas.

Observa-se, então, a importância de se considerar nos cálculos o efeito de instalação da fundação, que é influenciado pelo comportamento do solo frente ao

processo executivo da estaca. Um indicativo desse comportamento pode ser a relação T/N .

QUADRO 168 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas através de Ranzini (2000) utilizando-se os coeficientes obtidos nesta pesquisa

Estaca	Cidade do Campo Experi-mental	Caracterís-ticas		Prova-de-carga			Metodologia				
		ϕ (m)	L (m)	PP (kN)	PL (kN)	PR (kN)	sp	$\frac{PP_{CAL}}{PP}$	$s\lambda$	$\frac{PL_{CAL}}{PL}$	$\frac{PR_{CAL}}{PR}$
Pré-Moldada	Campinas	0,18	12,5	43	219	262	60	2,14	2	1,14	1,30
	Ilha Solteira	0,17 $\square$	12,0	87	143	230		0,74		0,82	0,79
	São Paulo	0,50 ⁽³²⁾	8,68	-	-	3200		-		-	0,60
Escavada	Campinas	0,45	12,0	14	680	694	12	7,42	2	0,74	1,10
	São Carlos	0,35	9,1	92	292	384		0,58		0,99	0,89
		0,40	9,1	130	347	477		0,62		0,95	0,86
		0,50	9,1	230	464	694		0,55		0,89	0,77
	Ilha Solteira	0,32	10,0	-	-	570		-		-	0,26
	São Paulo	0,70	6,59 ⁶	-	-	2461*		-		-	1,93
Hélice-Contínua	Campinas	0,40	12,0	62	823	885	9	0,99	3	0,81	0,82
	São Paulo	0,35	6,67 ⁵	-	-	643*		-		-	4,68
		0,42 ⁵	7,18 ⁷	-	-	822*		-		-	4,66
Ômega	Campinas	0,39	12,0	199	1229	1428	30	0,99	5	0,88	0,90
Broca	Lavras	0,25	4,0	-	-	137*	12	-	2	-	0,56
		0,20	6,0	-	-	174*		-		-	0,82
		0,20	4,0	-	-	123		-		-	0,48
		0,15	6,0	-	-	140		-		-	0,86
		0,25	6,0	-	-	187		-		-	0,98
	São Carlos	0,25	6,0	-	-	142		-		-	0,68
Raiz	São Carlos	0,25	15,0	115	935	1050	19	1,01	3	0,75	0,78
Strauss	São Carlos	0,38	9,4	-	-	653	12	-	2	-	0,58
	São Paulo	0,32	7,3	-	-	905*		-		-	2,21
Apiloadada	São Carlos	0,20	6,0	-	-	194	22	-	11	-	2,00
		0,20	9,0	-	-	279		-		-	2,75
	Bauru	0,25	3,5	20	80	100		0,51		0,71	0,67
		0,25	6,5	88	143	231		0,17		0,94	0,65
		0,25	9,5	57	233	290		0,34		1,09	0,94
	Ilha Solteira	0,20	6,0	-	-	150		-		-	1,14
Franki	São Paulo	0,40	4,58 ¹	-	-	2329*	12	-	2	-	0,98
		0,40	4,61 ⁷	-	-	2243*		-		-	1,02
Barrete	São Paulo	1,65x0,4	7,0	2130	2870	5000	15	1,02	1	1,25	1,15
Injetada	São Paulo	0,127	6,47 ⁸	-	-	1213*	20	-	3	-	0,82
Metálica	São Paulo	1 10"	5,36 ⁴	-	-	270	30	0,95	0,5	1,23	1,20
* Van Der Veen (1953) $\square$ seção quadrada											

Para as estacas escavadas, nota-se ter sido o resultado para Ilha Solteira muito conservador, havendo coerência com o fato de que, nesse solo, o torque ter um valor baixo devido à vibração durante a cravação do amostrador. A relação para a estaca de São Paulo está muito acima de um e isso se repete para a estaca Hélice-Contínua desse local, mostrando que os valores obtidos através das provas-de-carga de São Carlos e Campinas não podem ser generalizados.

Adicionalmente, os valores de carga-de-ruptura, PR , para as estacas Escavadas e Hélices-Contínuas de São Paulo foram obtidos através do critério de Van Der Veen (1953), resultando em valores conservadores, conduzindo a resultados da relação PR_{CAL}/PR acima do valor unitário.

Não havendo resultados de provas-de-carga instrumentadas para as estacas Brocas, considerou-se os mesmos coeficientes empíricos obtidos para as estacas Escavadas, obtendo-se relações PR_{CAL}/PR satisfatórias, mas ainda um pouco conservadoras.

Nas estacas do tipo Strauss ocorreu o mesmo comportamento observado nas estacas Escavas e Hélice-Contínua: conservador para o solo arenoso de São Carlos e muito alto para o solo de São Paulo, indicando, assim, a necessidade de se utilizar um fator de correção que reflita o comportamento do solo.

Segundo a NBR-6122, a estaca Apiloadada é considerada como um tipo especial de estaca que não é cravada, nem totalmente escavada. O coeficiente empírico, $s\lambda$, obtido para esta estaca no Campo Experimental de Bauru, foi muito maior do que aqueles obtidos para as outras estacas; mais de cinco vezes o valor para as estacas Pré-Moldadas e mais do que o dobro da estaca Ômega, a qual, pelo método executivo, espera-se que possua um atrito lateral superior ao das outras estacas aqui estudadas.

O motivo deste valor tão alto para as estacas Apiloadas deve-se ao fato de que, para a obtenção desses coeficientes empíricos, foram utilizados os dados do Campo Experimental de Bauru. Lá houve uma perda de adesão solo-amostrador devido à vibração durante a cravação do *SPT*, resultando em torques pequenos, e o mesmo não ocorrendo com o atrito lateral da estaca devido ao seu método executivo.

Os resultados obtidos para as estacas Franki, Barrete, Injetada e Metálica demonstraram ser adequados, mas é necessário um maior número de estacas pelo fato de as análises terem sido circulares.

No Quadro 169 estão apresentados valores médios das relações $T_{m\acute{a}x}/N$ e $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ para todos os Campos Experimentais, possibilitando uma melhor compreensão destas observações.

QUADRO 169 - Relações $T_{m\acute{a}x}/N$ e $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ Médias para os Seis Campos Experimentais

Prof.	Campinas		Lavras		São Carlos		Bauru		Ilha Solteira		São Paulo	
	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{a}x}$
	N	T_{res}	N	T_{res}	N	T_{res}	N	T_{res}	N	T_{res}	N	T_{res}
1	0,62	3,87	1,36	3,97	1,20	3,73	0,72	4,12	0,96	7,06	1,97	1,63
2	0,67	2,62	1,73	3,33	2,32	2,59	1,08	6,23	0,77	4,58	2,20	1,59
3	0,76	2,77	0,98	4,48	2,19	1,66	1,20	4,09	0,86	2,31	1,56	1,28
4	0,71	2,37	0,82	2,04	1,79	1,79	0,65	3,23	0,71	3,17	1,78	1,27
5	0,66	2,14	1,40	1,90	1,83	1,77	1,11	4,18	0,89	3,66	1,53	1,28
6	0,70	1,97	1,37	1,93	1,52	2,05	0,67	3,52	0,73	3,03	1,75	1,29
7	0,84	2,16	1,62	1,56	1,66	1,25	0,61	3,67	0,97	4,51	1,80	1,25
8	1,20	1,75	1,65	1,73	1,56	1,41	0,84	4,87	0,78	2,12	1,59	1,28
9	1,22	1,55	2,02	2,01	1,48	1,59	0,58	3,92	1,08	2,96	1,40	1,18
10	1,31	1,48	2,57	1,81	1,48	1,62	0,63	2,65	0,84	2,33	1,35	1,15
11	1,34	1,50	2,07	1,73	1,71	1,55	0,56	2,71	0,97	3,03	-	-
12	1,34	1,47	1,77	1,60	1,57	1,43	0,77	3,08	0,80	1,68	-	-
13	1,54	1,46	1,68	2,01	1,65	1,44	2,24	1,42	1,08	2,21	-	-
14	1,47	1,44	1,95	1,69	1,84	1,45	2,00	1,47	0,63	1,37	-	-
15	1,85	1,48	1,81	1,92	1,94	1,48	2,14	1,31	1,22	2,86	-	-

A adoção direta dos coeficientes empíricos aqui obtidos para a metodologia proposta por Ranzini (2000) induz a erros inerentes ao comportamento do solo de cada Campo Experimental, mostrando a necessidade de um fator de correção que depende do comportamento do solo e do tipo de estaca.

10.2 – SUGESTÃO DE UMA METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS COM BASE NO *SPT-T*

Através das análises apresentadas nos capítulos anteriores, pode-se afirmar que o ensaio *SPT-T* é uma boa ferramenta para o cálculo da previsão de capacidade-de-carga de estacas.

Os resultados das previsões de capacidade-de-carga através dos métodos já existentes mostraram que as metodologias ainda precisam ser melhoradas.

Assim, é válida a intenção de se dar continuidade aos estudos para se propor uma metodologia adequada para o cálculo da capacidade-de-carga de estacas.

Como já foi mostrado no item anterior, a metodologia proposta por Ranzini (2000) é um indicativo da possibilidade de se obter a parcela de atrito lateral de estacas através da adesão-atrito solo-amostrador, fT . O mesmo não ocorreu com a parcela de ponta, que apresentou uma grande variabilidade. Isto pode ser

facilmente justificado pelo fato de que as medidas de torque estão em direção diferente ao carregamento da ponta da estaca e também pela grande dificuldade na obtenção de parâmetros devido à grande variabilidade dos resultados dessas parcelas nas provas-de-carga .

Também, pelo proposto no item anterior, fica constatado que a parcela de atrito lateral, obtida através da metodologia proposta por Ranzini (2000), necessita de um fator de correção relacionado ao comportamento do solo, quando submetido à introdução de um elemento de fundação.

No Anexo C são mostrados vários gráficos dos coeficientes-de-variação dos parâmetros obtidos no *SPT-T* e *CPT* em função da profundidade, comprovando a menor variabilidade do torque máximo, $TE_{máx}$, quando comparado com o índice de resistência, N , e torque residual, TE_{res} . Consequentemente, da comparação dos resultados das previsões de atritos laterais através de Ranzini (2000), quando se utilizou fT_{res} com os resultados obtidos da mesma metodologia, embora utilizando-se $fT_{máx}$, constatou-se uma maior variabilidade para aquelas que são realizadas com o torque residual (esse estudo está detalhado no Anexo D).

Desta maneira, sugere-se uma metodologia para o cálculo da previsão de capacidade-de-carga considerando-se para o cálculo da parcela de atrito lateral , cuja tensão $f\lambda$ é calculada através da equação de Ranzini (2000), mas com o $fT_{máx}$, e multiplicando-se por um fator $F\lambda$, função do comportamento do solo, que aqui é representado pela relação $T_{máx}/N$.

No Capítulo 9, Quadros 166 e 167 , observa-se que a metodologia proposta por Decourt (1996) para cálculo da parcela de ponta, utilizando os valores de N e

não do N_{eq} , é a que melhor se aproxima dos resultados das provas-de-carga instrumentadas. Decourt (1996) nada mais é do que Decourt e Quaresma (1978) acrescida de coeficientes α e β , os quais são função do tipo de estaca e tipo de solo:

$$PR_{CAL} = \alpha * K * \bar{N} * A_p + \beta * 10 * \left(\frac{N}{3} + 1\right) * A_s \quad (53)$$

Desta maneira, para cálculo da parcela de resistência da ponta é sugerida a Metodologia de Decourt e Quaresma (1978) acrescida do coeficiente α sugerido por Decourt (1996).

O roteiro de cálculo está descrito a seguir.

A capacidade-de-carga de estacas é obtida através do cálculo de duas parcelas: resistência de ponta e atrito lateral.

$$PR = PL + PP \quad (54)$$

Em que:

PR = carga de ruptura da estaca;

PP = parcela de resistência de ponta da estaca;

PL = parcela de atrito lateral da estaca.

Para o cálculo da parcela de atrito lateral utiliza-se a metodologia sugerida por Ranzini (2000), mas usando-se $fT_{máx}$, e multiplicando-se pelo coeficiente $F\lambda$, que é função de $T_{máx}/N$.

$$PL = F\lambda * s\lambda * \overline{fTm\acute{a}x} * A\lambda \quad (55)$$

Em que:

$F\lambda$: fator de correção em função do tipo de estaca e da relação $Tm\acute{a}x/N$, Quadro 170;

$s\lambda$: coeficiente em função do tipo de estaca, Quadro 170;

$$\overline{fTm\acute{a}x} = \frac{\sum \Delta\lambda_i * fTm\acute{a}x_i}{\sum \Delta\lambda_i} \quad (56)$$

Em que:

$\Delta\lambda_i$: o comprimento do trecho elementar de ordem "i" do fuste;

$fTm\acute{a}x_i$ é a tensão de atrito lateral máxima medida pelo torquímetro na altura do trecho elementar de ordem "i" do fuste;

$A\lambda$: área da superfície lateral da estaca.

Destaca-se aqui que os coeficientes empíricos, $s\lambda$, foram obtidos comparando-se a eq. de Ranzini (2000), utilizando-se $fTm\acute{a}x$, com os resultados das provas-de-carga instrumentadas. Para a obtenção dos fatores multiplicadores, $F\lambda$, foram inicialmente utilizados os resultados das provas-de-carga instrumentadas e depois aferidos através das provas-de-carga não instrumentadas.

QUADRO 170 - Valores dos coeficientes $s\lambda$ e $F\lambda$

Tipo de Estaca	$s\lambda$	$F\lambda$	
		$Tm\acute{a}x/N < 1$	$Tm\acute{a}x/N > 1$
Pré-Moldada de pequeno diâmetro	0,8	1,0	
Ômega	3,0		
Metálica	0,3		
Injetada de pequeno diâmetro	2,0		
Raiz	1,5		
Strauss	0,8	1,3	0,7
Franki	0,8	0,7	0,5
Apiload	3,5	0,7	0,5
Hélice-Contínua	2,0	1,0	0,3
Escavada e Broca	1,4	1,3	0,7
Barrete	0,7	1,0	1,0

Para estaca Hélice-Contínua, quando o $\overline{fT_{\text{máx}}} > 80 \text{ kPa}$ (o que corresponde a um toque superior a quinze), utilizar $F\lambda=0,3$ para qualquer $T_{\text{máx}}/N$.

Entretanto, para as estacas Pré-Moldadas, Ômega, Metálica, Injetada e Raiz não houve a necessidade de um fator de correção em função de $T_{\text{máx}}/N$. Não estão sendo recomendados $s\lambda$ e $F\lambda$ para as estacas Pré-Moldadas de grande diâmetro pois a mesma possui um comportamento diferente da correspondente de pequeno diâmetro, necessitando-se de uma melhor investigação.

Os coeficientes mostrados no Quadro 176 foram obtidos através dos dados disponíveis para esta pesquisa, necessitando-se, para uma melhor verificação da eficiência da metodologia, de uma maior quantidade de provas-de-carga em estacas instrumentadas.

Para o cálculo da parcela de ponta adota-se a método de Decourt e Quaresma (1978) acrescido de um fator α sugerido por Decourt (1996).

$$PP = C * \alpha * \overline{N} * A_p \quad (57)$$

Em que:

C : coeficiente em função do tipo de solo, Quadro 171;

α : coeficiente sugerido por Decourt (1996), Quadro 172;

$\overline{N}$: média dos valores N obtidos na ponta da estaca, um metro acima e um metro abaixo;

A_p : área da seção transversal na ponta da estaca;

**QUADRO 171 - Valores do coeficiente C em função do tipo de solo
apud Decourt (1996)**

Tipo de Solo	$C \text{ (kN/m}^2\text{)}$
argila	120
silte-argiloso	200
silte-arenoso	250

areia	400
-------	-----

**QUADRO 172 - Valores do coeficiente α em função do tipo de solo e estaca
apud Decourt (1996)**

Tipo de estaca Tipo de solo	Escavada	Escavada Bentonítica	Hélice Continua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,30*	0,85*	1,00*
Solos Intermediários	0,60	0,60	0,30*	0,60*	1,00*
Areias	0,50	0,50	0,30*	0,50*	1,00*
* valores apenas orientativos diante de reduzido número de dados disponíveis					

O Quadro 173 apresenta os resultados da metodologia aqui sugerida para as estacas dos seis Campos Experimentais.

Com o objetivo de verificar a viabilidade dessa metodologia, a mesma está aplicada a outros dados de provas-de-carga obtidos através de referências recentes dos Congressos Brasileiros de Mecânica dos Solos, dos Seminários de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia e também através da Revista Solos e Rochas, além dos catálogos da Geofix utilizados em conjunto com as referências da Caputo *et al* (1997) (encontro realizado pela ABMS em 1997) e Penna *et al* (1999) (encontro realizado pela ABMS/ABEF em 1999) para os cálculos da Hélices-Contínuas. Os resultados estão apresentados no Quadro 174.

O número de dados ainda é bem pequeno pois, além do agravante de ser difícil a obtenção de resultados de provas-de-carga, também deve ser considerado se as mesmas foram levadas até à ruptura e se existem resultados de ensaios *SPT-T* próximos às mesmas.

QUADRO 173 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas através da nova metodologia para as estacas dos Campos Experimentais analisados

Estaca	Cidade Campo Experimental	Características		Prova-de-carga			Metodologia						
		ϕ (m)	L (m)	PP (kN)	PL (kN)	PR (kN)	D e Q (1978) PP _{CAL} (kN)	α	PP _{CAL} PP	T _{máx} / N	F $\lambda^*s\lambda$	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR
Pré-Moldada	Campinas	0,18	12,5	43	219	262	42,5	1,0	0,99	1,03	0,8	0,89	0,91
	I. Solteira	0,17 [□]	12,0	87	143	230	84,7	1,0	0,96	0,88	0,8	1,06	1,03
	São Paulo	0,50 ^(.32)	8,68	-	-	3200	915,6	1,0	-	1,73	0,8	-	0,89
Escavada	Campinas	0,45	12,0	14	680	694	265,0	0,6	11,36	0,95	1,3*1,4	1,21	1,41
	São Carlos	0,35	9,1	92	292	384	233,9	0,5	1,27	1,71	0,7*1,4	0,62	0,92
		0,40	9,1	130	347	477	305,6	0,5	1,18	1,71	0,7*1,4	0,78	0,89
		0,50	9,1	230	464	694	477,5	0,5	1,04	1,71	0,7*1,4	0,73	0,83
	I. Solteira	0,32	10,0	-	-	570	206,6	0,5	-	0,86	1,3*1,4	-	0,80
	São Paulo	0,70	6,59 ⁶	-	-	2461*	2549 ⁶	0,6	-	1,80	0,7*1,4	-	1,60
Hélice-contínua	Campinas	0,40	12,0	62	823	885	210,1	0,3	1,02	0,95	2,0	0,97	0,95
	São Paulo	0,35	6,67 ⁵	-	-	643*	637,4	0,3	-	1,80	0,3*2,0	-	1,45
		0,42 ⁵	7,18 ⁷	-	-	822*	939,8	0,3	-	1,80	0,3*2,0	-	1,49
Ômega	Campinas	0,39	12,0	199	1229	1428	199,7	1,0	1,00	0,95	3,0	0,95	0,96
Broca	Lavras	0,25	4,0	-	-	137*	98,5	0,6	-	1,22	0,7*1,4	-	1,12
		0,20	6,0	-	-	174*	47,7	0,6	-	1,28	0,7*1,4	-	0,86
		0,20	4,0	-	-	123	44,3	0,6	-	1,22	0,7*1,4	-	0,83
		0,15	6,0	-	-	140	26,8	0,6	-	1,28	0,7*1,4	-	0,76
		0,25	6,0	-	-	187	74,5	0,6	-	1,28	0,7*1,4	-	1,05
	São Carlos	0,25	6,0	-	-	142	58,9	0,5	-	1,81	0,7*1,4	-	0,81
Raiz	São Carlos	0,25	15,0	115	935	1050	236,4	0,5	1,03	1,71	1,5	0,89	0,90
Strauss	São Carlos	0,38	9,4	-	-	653	277,2	1,0	-	1,71	0,7*0,8	-	0,65
	São Paulo	0,32	7,3	-	-	905*	538,8	1,0	-	1,80	0,7*0,8	-	1,26
Apiloada	São Carlos	0,20	6,0	-	-	194	37,7	1,0	-	1,81	0,5*3,5	-	0,83
		0,20	9,0	-	-	279	64,6	1,0	-	1,73	0,5*3,5	-	0,98
	Bauru	0,25	3,5	20	80	100	58,9	1,0	2,95	0,91	0,7*3,5	0,65	1,11
		0,25	6,5	88	143	231	71,7	1,0	0,81	0,86	0,7*3,5	0,80	0,80
		0,25	9,5	57	233	290	108,2	1,0	1,90	0,81	0,7*3,5	0,91	1,11
	I. Solteira	0,20	6,0	-	-	150	46,5	1,0	-	0,82	0,7*3,5	-	1,25
Franki	São Paulo	0,40	4,58 ¹	-	-	2329*	2799 ⁰	1,0	-	1,81	0,5*0,8	-	1,33
		0,40	4,61 ⁷	-	-	2243*	2799 ⁰	1,0	-	1,81	0,5*0,8	-	1,40
Barrete	São Paulo	1,65x0,4	7,0	2130	2870	5000	4372 ⁵	0,6	1,23	1,80	0,7	1,05	1,13
Injetada	São Paulo	0,127	6,47 ⁸	-	-	1213*	83,9	1,0	-	1,80	2,0	-	0,76
Metálica	São Paulo	I 10"	5,36 ⁴	-	-	270	28,5	1,0	-	1,80	0,3	-	0,99

* - Resultado obtido através de Van Der Veen (1953)
□ - Estaca de Seção Quadrada
D e Q (1978) – Decourt e Quaresma (1978)

QUADRO 174 - Aplicação da metodologia em outras estacas cujas provas-de-carga estão disponíveis na literatura

Estaca	Referência	Características		Prova-de-carga		Metodologia										
		ϕ (m)	L _{SOLO} (m)	Interpretação	PR (kN)	T _{máx} / N	C	α	N	PP _{CAL}	s λ	F λ	fT _{MAX}	PL _{CAL}	PR _{CAL}	PR _{CAL} PR
Hélice- Contínua	ABMS (1997)	0,6	11,46	NBR	2260	1,47	150	0,3	27,7	352	2,0	0,3	61,9	804	1156	0,51
	ABMS/ABEF(1999) GEOFIX	0,5	15,50	VDV	2713	1,70	250	0,3	18,7	275	2,0	0,3	104,0	1519	1794	0,66
		0,5	11,03	VDV	1728	0,52	250	0,3	28,4	565	2,0	1,0	33,3	1154	1719	0,99
		0,5	11,85	VDV	2178	0,95	150	0,3	35,0	309	2,0	0,3	82,2	918	1227	0,56
		0,5	10,50	VDV	2444	1,54	150	0,3	42,3	374	2,0	0,3	181,8	1971	2345	0,96
		0,8	10,83	VDV	3117	1,97	150	0,3	26,3	595	2,0	0,3	44,5	726	1321	0,42
		0,7	22,25	VDV	4440	2,22	250	0,3	25,3	731	2,0	0,3	176,8	5190	5921	1,33
	Branco <i>et al</i> (2000)	0,5	21,00	VDV	3068	1,44	200	0,3	17,0	200	2,0	0,3	82,06	1587	1787	0,58
		0,4	12,00	VDV	1273	0,92	150	0,3	10,9	62	2,0	1,0	27,31	824	886	0,70
		0,7	12,00	VDV	2464	0,92	150	0,3	10,9	189	2,0	1,0	27,31	1441	1630	0,66
	Alonso (1997)	0,6	16,0	PC - M	3700	1,39	350	0,3	21,3	633	2,0	0,3	95,05	1721	2354	0,64
	Alonso (2000)	0,35	11,55	PC - R	1320	1,09	150	0,3	29,7	128	2,0	0,3	106,23	810	938	0,71
		0,40	15,00	PC - M	1600	1,35	150	0,3	66,7	377	2,0	0,3	130,67	1478	1855	1,16
		0,60	27,00	PC - R	3600	0,85	150	0,3	33,0	420	2,0	0,3	89,34	2729	3149	0,87
Strauss	Rodrigues <i>et al</i> (1998)	0,32	8,10	VDV	270	1,59	150	0,8	8,0	77	0,8	0,7	28,76	131	208	0,77
Escavada *		0,30	7,90	VDV	280	1,59	150	0,5	8,0	42	1,4	0,7	29,69	217	259	0,93
Escavada **		0,30	7,90	VDV	200	1,59	150	0,5	8,0	42	1,4	0,7	29,69	217	259	1,30
Pré-Moldada		0,33	8,20	VDV	230	1,59	150	0,8	8,0	82	0,8	1,0	29,46	200	282	1,23
Escavada	Chiarelli (1999)	0,25	3,00	VDV	49	0,25	120	0,85	3,0	15	1,4	1,3	5,43	23	38	0,78
* : Escavada com trado mecânico; ** : Escavada com trado manual; PC - R : prova-de-carga com carregamento rápido; PC - M : prova-de-carga com carregamento misto; VDV : Van Der Veen (1953)																

Embora no Quadro 173 as relações estejam sempre em torno do valor unitário, o mesmo não ocorre com os resultados do Quadro 174, no qual, a metodologia mostra ser conservadora. Isto já havia sido inicialmente previsto porque, ao escolher os valores dos coeficientes, procurou-se sempre fazê-lo a favor da segurança. Por exemplo, o valor de $s\lambda$ para as estacas Pré-Moldadas e Ômega poderiam perfeitamente ser um, mas optou-se pelo valor 0,8 para ficar a favor da segurança, o que se mostrou adequado quando verificada a relação PR_{CAL}/PR obtida para a estaca Pré-Moldada de Rodrigues *et al* (1998) apresentada no Quadro 174.

Para as estacas Hélices-Contínuas o coeficiente $F\lambda$ igual a 0,3 pode parecer extremamente conservador. No entanto, esse valor fez-se necessário ao ser verificado que, quando os valores de $fT_{m\acute{a}x}$ médios ao longo do fuste da estaca são superiores a 80kPa, a parcela de atrito lateral chegou a valores absurdamente altos, necessitando nesse caso, de um coeficiente redutor.

Através dos resultados dos Quadros 173 e 174 foram calculados os valores médios da relação PR_{CAL}/PR e seus respectivos coeficiente-de-variação para cada tipo de estaca, conforme Quadro 175:

QUADRO 175 - Valores médios e coeficientes-de-variação para as previsões obtidas através da metodologia

Tipo de Estaca	Número de dados	Média da relação PR_{CAL}/PR	Coeficiente-de-variação
Pré-Moldada	4	1,02	15,3 (%)
Escavada	9	1,05	28,9 (%)
Hélice-Contínua	17	0,86	38,5 (%)
Broca	6	0,91	15,9 (%)
Strauss	3	0,89	36,3 (%)
Apiloadada	6	1,01	17,4 (%)

Esses resultados mostram que a metodologia apresentada é adequada para o cálculo das previsões de capacidade-de-carga muito embora deva ser

ressaltado que os coeficientes aqui propostos são valores iniciais e passíveis de sofrer alguns ajustes.

Para avaliar a viabilidade de se utilizar esse método para estacas submetidas à tração, os cálculos foram realizados considerando-se que a reação do solo fosse a mesma de quando a estaca fosse submetida à compressão, isto é, utilizou-se diretamente a metodologia sugerida para o cálculo à compressão. No Quadro 176 estão apresentados os resultados para estacas submetidas a tração.

QUADRO 176 - Aplicação da metodologia em estacas submetidas à tração

Estaca	Referência	Características		Prova-de-carga		Metodologia					
		ϕ (m)	L_{SOLO} (m)	Interpretação	PL (kN)	$T_{m\acute{a}x}/N$	$s\lambda$	$F\lambda$	$fT_{M\acute{A}X}$	PL_{CAL}	PL_{CAL}/PL
Hélice-Contínua	Alonso (2000)	0,60	11,23	PC - R	680	1,36	2,0	0,3	60,91	773,6	1,14
		0,50	11,00	PC - R	630	1,79	2,0	0,3	92,65	960,6	1,52
		0,50	9,00	PC - R	625	1,42	2,0	0,3	112,81	956,9	1,53
		0,50	10,50	PC - M	650	1,33	2,0	0,3	73,07	723,2	1,11
		0,35	13,00	PC - R	640	1,40	2,0	0,3	45,57	390,8	0,61
		0,30	12,00	PC - R	630	1,47	2,0	0,3	84,43	572,9	0,91
Pré-Moldada	Albuquerque <i>et al</i> (2000)	0,18	13,40	PC - L	188	1,03	0,8	1,0	32,90	199,4	1,06
	Menezes (1997)	0,17	12,00	PC - L	50	0,86	0,8	1,0	23,27	151,9	<u>3,04</u>
Raiz	Carvalho (1991)	0,25	15,00	PC - L	700	1,71	1,5	1,0	46,03	813,4	1,16
	Alonso (1995)	0,15	9,00	PC - M	430	0,95	1,5	1,0	71,10	452,4	1,05
		0,20	7,25	D e C	690	1,05	1,5	1,0	118,98	819,0	1,18
Escavada	Carvalho (1991)	0,35	9,10	PC - L	363	1,73	1,4	0,7	23,44	237,5	0,65
		0,40	9,10	PC - L	408	1,73	1,4	0,7	23,44	262,7	0,64
		0,50	9,10	PC - L	429	1,73	1,4	0,7	23,44	328,4	0,77
Strauss	Carvalho (1995)	0,38	9,4	PC - L	366	1,73	0,8	0,7	23,85	149,9	<u>0,41</u>
PC - L : prova-de-carga com carregamento lento PC - R : prova-de-carga com carregamento rápido PC - M : prova-de-carga com carregamento misto D e C : aplicação da metodologia de David e Cabral (1991)											

A relação $PL_{CAL}/PL = 3,04$ para a estaca Pré-Moldada de Menezes (1997), a qual foi executada no Campo Experimental de Ilha Solteira, praticamente foi a única estaca, das aqui analisadas, cuja metodologia resultou num valor muito acima do que foi obtido na prova-de-carga. Isto provavelmente ocorreu porque, esse solo, como já foi discutido anteriormente, é muito suscetível a vibração e

provavelmente as estacas ensaiadas estavam praticamente soltas no solo resultando em PR muito baixo.

10.3 – ANÁLISES GERAIS DAS METODOLOGIAS SUGERIDAS

A metodologia proposta por Ranzini (2000) mostrou a possibilidade da utilização da adesão-atrito solo-amostrador para o cálculo da parcela de atrito lateral de estacas, necessitando-se de um fator de correção em função do comportamento do solo.

Desta maneira, uma nova proposta para o cálculo da parcela de atrito lateral foi sugerida, utilizando-se os valores de $fT_{máx}$, ao invés do fT_{res} inicialmente proposto por Ranzini (2000), porque o torque máximo é uma medida menos sujeita a fatores intervenientes do que o T_{res} .

Além disso, a correção da fórmula por um fator multiplicador em função do $T_{máx}/N$ mostrou-se muito adequada no sentido de que, além desse parâmetro já ter se mostrado adequado para essa finalidade, como mostrado no Capítulo 7, não se trata de uma correlação, e sim de valores medidos diretamente na obra em que será realizada a fundação.

Mesmo assim, é importante ressaltar que os valores aqui obtidos são apenas uma sugestão inicial devido ao limitado número de provas-de-carga disponíveis para a análise.

11. SUGESTÃO DE PADRONIZAÇÃO DO ENSAIO *SPT-T*

Neste capítulo está sendo apresentada uma sugestão para padronização da Sondagem de Simples Reconhecimento, com medida de torque, visando fornecer, aos executores de sondagem, um procedimento para execução do ensaio. Espera-se que as sugestões apresentadas contribuam para a melhoria da qualidade dos dados fornecidos pelo ensaio *SPT-T*.

Para isto, com o objetivo de facilitar a compreensão dos leitores e, principalmente, dos profissionais de fundações, o texto está sendo apresentado praticamente com os mesmos itens do Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos da ABEF (1998) no que se refere a Sondagem à Percussão. Assim, serão abordados os seguintes itens:

- Objetivo e Campo de Aplicação;
- Definições e siglas;

- Equipamentos, acessórios e ferramentas;
- Equipes de campo;
- Indicadores de produtividade;
- Execução do ensaio
- Apresentação de relatórios;

11.1 – OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar o procedimento de execução do ensaio *SPT-T*, especificar os equipamentos a serem utilizados e também sugerir siglas para os diferentes parâmetros obtidos neste ensaio. A sondagem à percussão deve ser executada segundo a NBR 6484 (1980) sendo aqui detalhada no que se refere à medida do torque.

Segundo a ABEF (1998), a sondagem à percussão é aplicada para a implantação de novas obras ou ampliações, complementações de estudos, pesquisas, etc, em locais de acesso normal, sobre terra, ou áreas com pequena lâmina d'água. A sondagem acrescida da medida de torque possui o mesmo campo de aplicação, com a vantagem de fornecer um parâmetro a mais, com aplicação na previsão de capacidade-de-carga de estacas, não prejudicando de maneira significativa a produtividade da sondagem ou provocando um excessivo custo adicional à obra.

11.2 – DEFINIÇÕES E SIGLAS

Este item tem por objetivo apresentar ao meio técnico definições e abreviaturas dos parâmetros que podem ser obtidos através da medida de torque na sondagem de simples reconhecimento.

11.2.1 – Definições

- Sondagem de simples reconhecimento com medida de torque: sondagem executada segundo a NBR 6484 (1980) na qual, após terminada a cravação do amostrador a cada metro, um torquímetro é adaptado à cabeça-de-bater, e imediatamente é rotacionado, permitindo assim a leitura de dois parâmetros: torque máximo e torque residual.
- Torque máximo: momento de torção máximo necessário à rotação do amostrador, que representa um parâmetro de resistência lateral. Neste trabalho, concluiu-se que essa medida é obtida, em geral, logo após a aplicação do momento no conjunto haste-amostrador, sempre antes de completar a primeira volta.
- Torque residual: momento de torção residual que permanece constante após o rompimento do atrito lateral entre o solo e o amostrador. Essa medida é obtida durante a rotação ininterrupta do torquímetro, quando o torque permanecer

constante. Recomenda-se, neste trabalho, que a leitura seja feita quando completada a segunda volta do ensaio.

- Adesão-atrito solo-amostrador: força de atrito lateral entre o solo e o amostrador obtida através da expressão sugerida por Ranzini (1994):

$$fT = \frac{T}{(41,33h - 0,032)} \quad (51)$$

sendo: fT a adesão-atrito solo-amostrador, em “kPa”;

T a medida de torque, em “m.kN”;

h a altura total de cravação do amostrador, em “m”.

11.2.2 – Siglas

- SPT-T: sondagem à percussão com medida torque;
- T: torque medido no ensaio *SPT-T*;
- $T_{\text{máx}}$: torque máximo necessário para romper o atrito solo-amostrador;
- T_{res} : torque residual medido quando a leitura durante a rotação do torquímetro permanecer constante;
- fT : adesão-atrito solo-amostrador obtida segundo expressão de Ranzini (1994);
- $fT_{\text{máx}}$: adesão-atrito solo-amostrador, segundo expressão de Ranzini (1994) obtida através do torque máximo, $T_{\text{máx}}$;
- fT_{res} : adesão-atrito solo-amostrador, segundo expressão de Ranzini (1994) obtida através do torque residual, T_{res} .

11.2.3 – Definições e Siglas Complementares

Este sub-item tem o objetivo de justificar mudanças nas nomenclaturas inicialmente propostas por Ranzini (1988) e definir outros parâmetros que vêm sendo utilizados na prática e obtidos através do *SPT-T*.

- SPTF: sugestão de nomenclatura para a sondagem à percussão com medida de torque proposta por Ranzini (1988) para manter a nomenclatura internacional, *Standard Penetration Test with Friction Measurement*. A mudança para a nomenclatura *SPT-T* ocorreu de maneira natural visando, na prática, uma rápida compreensão de que esse ensaio se refere à medida de torque.
- fs: sugestão de nomenclatura para a adesão-atrito solo-amostrador segundo Ranzini (1994). Sugere-se a mudança para *fT* com o objetivo de possibilitar a rápida associação de que esse atrito lateral refere-se ao obtido através da medida de torque;
- T/N: relação entre o valor de torque, *T_{máx}*, na unidade m.kgf, e o índice de resistência, *N*. Como concluiu-se nessa pesquisa, os valores *T/N* são regionais e não devem ser generalizados.
- Neq: índice proposto por Decourt (1991), que significa o valor de *T_{máx}* (m.kgf) dividido por 1,2. Esse número corresponde à relação *T/N* dos solos da Bacia Sedimentar Terciária de São Paulo, os quais, segundo o autor, são alguns dos solos mais estudados no Brasil. Desta maneira, esse *Neq* (*N equivalente*)

equivaleria o valor de N caso o solo estudado pertencesse à Bacia Sedimentar Terciária de São Paulo, podendo-se assim, estabelecer importantes correlações referentes aos solos da BSTSP.

11.3 – EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E FERRAMENTAS

Este item tem como objetivo mostrar os equipamentos necessários para a medida do torque e orientar quanto à manutenção dos mesmos.

Os equipamentos necessários para a realização da sondagem à percussão constam da NBR 6484 (1980) e do Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos, ABEF (1998). Além das ferramentas específicas para a medida do torque, estão aqui detalhados os equipamentos de sondagem que necessitam de cuidados especiais quando da realização do ensaio *SPT-T*.

- Amostrador: o amostrador recomendado pela NBR 6484 (1980) é o tipo Raymond de 50,8mm de diâmetro externo e 35mm de diâmetro interno. Para a execução da medida de torque não recomenda-se o equipamento do tipo bi-partido. O amostrador deve ser novo ou bem conservado.
- Hastes: as hastes devem ser de 3,23kg/m, com diâmetro interno igual a 25mm e diâmetro externo igual a 32,8mm, acopladas com luvas devendo o conjunto

haste-amostrador ser muito bem rosqueado, evitando-se, assim, rotação adicional durante a realização da medida do torque.

- Cabeça-de-bater: deve ser utilizada a cabeça-de-bater de tamanho normal, com massa 3,5 kg, com uma pequena modificação no furo central por onde passa o pino-guia do martelo. Essa modificação consiste em deixar o furo central quadrado, de forma a permitir o encaixe do adaptador do torquímetro sem a retirada da mesma, evitando-se, dessa forma, uma possível torção das hastes. Na Figura 192 é apresentada uma foto mostrando a configuração final da cabeça-de-bater. As dimensões do quadrado vão depender do adaptador do torquímetro que a empresa executora disponha.

Utilizando-se a cabeça-de-bater desta forma, mediu-se a energia de cravação do amostrador segundo a metodologia de Belincanta (1998) e chegou-se a uma eficiência de 70%, correspondendo ao valor esperado para ensaios realizados segundo a norma brasileira.



FIGURA 192 - Proposta da cabeça-de-bater

- Pino-adaptador: adaptador que serve para conectar a cabeça-de-bater ao torquímetro. O pino-adaptador deve ter dimensões que permitam o encaixe seguro e sem folga entre o torquímetro e a cabeça-de-bater. Na Figura 193 é

apresentada uma proposta de pino-adaptador com dimensões que permitem o encaixe de torquímetros da Gedore 10-48kgf.m (R350) e 17-83kgf.m (R600).

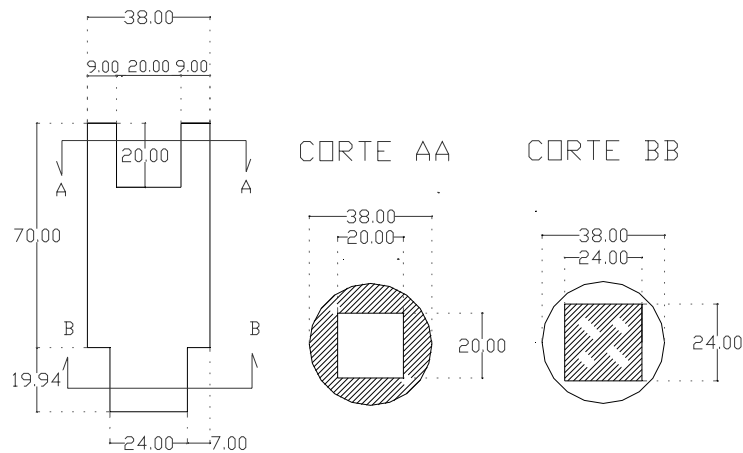


FIGURA 193 - Proposta de pino-adaptador para torquímetros com capacidade 10-48kgf.m (R350) e 17-83kgf.m (R600)

- Disco-centralizador bi-partido: disco de aço que tem por objetivo manter o conjunto de hastes centralizado em relação ao furo, tubo guia e revestimento. Recomenda-se a utilização de dois modelos: um para ser usado quando o avanço é executado pelo processo de lavagem, e outro, quando a perfuração é realizada com trado tipo cavadeira. O disco deve ser bi-partido para possibilitar a colocação do conjunto de hastes sem a retirada da cabeça-de-bater. As duas metades devem ser unidas por um sistema de presilhas que permita manuseio fácil e rápido e impeça a formação de chanfros durante a execução do ensaio. A Figura 194 apresenta um exemplo dos dois discos, com o objetivo de orientar as empresas executoras no projeto de um disco que melhor se adapte ao sistema de perfuração.



Avanço por lavagem

Perfuração com trado tipo cavadeira

FIGURA 194 - Propostas de disco-centralizadores

- Torquímetro: ferramenta mecânica para medida de torque. Recomenda-se a utilização de três torquímetros:
 - Torquímetro com capacidade mínima de 60 kN.m (6kgf.m) e máxima de 270kN.m (27kgf.m);
 - Torquímetro com capacidade mínima de 100kN.m (10kgf.m) e máxima de 480kN.m (48kgf.m);
 - Torquímetro com capacidade mínima de 170kN.m (17kgf.m) e máxima de 800kN.m (80kgf.m).

Estudo realizado nessa pesquisa apontou para o fato de que a diferença entre os resultados com os equipamentos analógicos e os equipamentos elétricos (desenvolvidos para esta pesquisa) foi menor quando utilizado o torquímetro com capacidade adequada. Assim, é importante, antes de realizada a medida do torque, atentar-se para a capacidade do equipamento mais adequada. Este controle, que pode ser feito em função do valor N , está apresentado no Quadro 177.

QUADRO 177 - Controle da capacidade dos torquímetro

Variação de N	Capacidade máxima do torquímetro
0 - 10	270 kN.m
11 - 30	480 kN.m
30 - 45	800 kN.m

Recomenda-se evitar a realização de ensaios com medidas maiores do que 400kN.m porque, durante a realização dos ensaios no Campo Experimental da Escola Politécnica/ABEF, foi constatado que momentos de torção aplicados ao conjunto haste-amostrador maiores do que 400kN.m prejudicam o rosqueamento das hastes.

Para facilitar a medida do torque máximo é preferível a utilização de torquímetro com ponteiro de arraste.

O torquímetro deve ser calibrado periodicamente e sempre que, por acidente, sofra algum impacto ou exceda à capacidade máxima durante o ensaio.

11.4 – EQUIPES DE CAMPO

A composição da equipe de campo deve seguir as mesmas recomendações do proposto pelo Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos da ABEF (1998), isto é, no campo deve haver no mínimo um sondador, um auxiliar de sondagem, um ajudante e um encarregado, todos supervisionados por um geólogo ou engenheiro geotécnico.

- Sondador: deve ser treinado pelo encarregado e/ou geólogo e/ou engenheiro geotécnico para executar ensaio de medição do torque, além de saber anotar os valores no boletim de campo e saber escolher o torquímetro mais adequado para cada ensaio. É de sua responsabilidade a leitura do torque durante o ensaio.
- Auxiliar de sondagem: deve ter os mesmos treinamentos do sondador, cabendo a ele girar o torquímetro durante o ensaio.
- Ajudante: funcionário ainda em treinamento que deve auxiliar em todas as etapas do ensaio.
- Encarregado: além das atribuições referentes a sondagem à percussão, o encarregado deve conhecer muito bem todas as etapas do ensaio *SPT-T*, e mais, estar atento à qualidade de execução do ensaio e às condições dos equipamentos, cabendo a ele providenciar a substituição ou reparo dos mesmos, caso necessário.

11.5 – INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

O ensaio *SPT-T* praticamente não afeta a produtividade da equipe sendo que deve ser adotado o mesmo critério do ensaio *SPT*.

11.6 – EXECUÇÃO DO ENSAIO

Observados todos os itens anteriores, a execução do ensaio *SPT-T*, conforme apresentada a seguir, é bem simples:

- a) ensaio *SPT-T*, ao contrário do que se imagina, inicia-se antes da cravação do amostrador. Isto porque, antes dessa cravação, deve-se calcular o comprimento das hastes de maneira tal que, após a cravação e acoplado o torquímetro, o mesmo deve estar na altura do abdômen do operador, facilitando assim, tanto a leitura do medidor, como a manutenção do torquímetro na posição horizontal, durante a rotação.

Embora à primeira vista esse controle possa parecer dependente do tamanho do operador, durante a execução dos ensaios para essa pesquisa, foi observado que basta escolher uma haste de meio metro ou uma outra de um metro e meio, dependendo da profundidade na qual será cravado o amostrador.

- b) Terminada a cravação do amostrador, o sondador soma o número de golpes para se obter o valor *N* e anota-o no boletim de campo;
- c) O sondador escolhe o torquímetro com a capacidade mais adequada;
- d) Enquanto isso, o auxiliar coloca o disco-centralizador no conjunto de hastes e verifica se não existem ranhuras no local onde haverá contato com a haste. Recomenda-se a colocação de graxa para diminuir o atrito entre o disco-centralizador e a haste;

- e) O auxiliar e o ajudante acoplam o torquímetro na cabeça-de-bater;
- f) O ajudante aplica o momento de torção e o sondador observa o mostrador analógico. A rotação deve ser feita de maneira confortável para o operador uma vez que foi constatado durante a execução dos ensaios desta pesquisa que, para o nível de variação das velocidades observadas, não há influência nos resultados. Assim, propõe-se que a rotação seja executada numa velocidade de cinco voltas por minuto;
- g) O sondador diz em voz alta o valor do torque máximo e continua lendo o relógio a fim de observar o momento em que a leitura do torque fica constante, leitura essa correspondente ao torque residual. Neste instante, o auxiliar deve anotar, no boletim de campo, o número correspondente ao torque máximo. O ajudante continua girando, ininterruptamente. O torque residual de ser obtido quando completadas duas voltas com o torquímetro ainda em movimento, devendo o sondador fazer uma anotação caso a leitura ainda não estiver constante neste momento;
- h) Terminadas as leituras, o sondador deve escrever os valores dos torques máximo e residual no boletim de campo. O auxiliar e o ajudante devem retirar o torquímetro e guardá-lo em uma caixa na sombra, para depois darem continuidade ao ensaio *SPT*;
- i) Esta operação deve ser repetida a cada metro;

11.7 – APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO

No relatório de sondagem deve ser especificada a execução da medida do torque. Os resultados devem ser apresentados nos perfis de sondagem, em duas colunas, ao lado dos resultados do índice de resistência N . Os valores do torque devem ser apresentados na unidade internacional, N.m, ou na unidade mais usual na prática, kgf.m, especificada no topo da coluna.

Quando o torque for maior do que a capacidade máxima permitida pelo equipamento, no lugar do número deve haver um asterisco e deve ser anotada no rodapé do relatório uma observação, explicando o ocorrido.

Quando, no perfil de sondagem, não são apresentados os números de golpes correspondentes a cada intervalo e suas respectivas profundidades de penetração, o valor do torque deve ser corrigido para uma penetração padrão de 45 cm, bem como o índice de resistência N , para uma penetração de 30 cm. Por outro lado, se os intervalos de penetração estão apresentados no relatório, os valores de N e T a serem apresentados não devem ser corrigidos.

12. CONCLUSÕES

Através dos estudos realizados nesta pesquisa chegou-se às seguintes conclusões:

- Através da Revisão Bibliográfica foi possível observar que a medida do torque é um procedimento que acrescenta ao ensaio *SPT* um parâmetro, podendo vir a ser de real importância para a engenharia geotécnica. A quantidade de artigos que vêm sendo publicados demonstra o interesse da comunidade geotécnica pelo ensaio *SPT-T*;
- Do Capítulo Campos Experimentais e Resultados de *SPT-T* consta a geologia e a caracterização geotécnica de cada local, proporcionando, assim, um melhor entendimento do comportamento do solo nesses locais e, além disso, podendo o capítulo ser uma fonte de consulta para pesquisas posteriores;
- Com a construção do torquímetro elétrico tornou-se possível a obtenção da curva torque *versus* ângulo-de-rotação, cujo objetivo era, em princípio, a utilização em estudos para esta pesquisa. Entretanto, constatou-se que o

sistema idealizado para a realização dos ensaios pode ser empregado rotineiramente por empresas, desde que haja pessoal técnico competente para manuseá-lo;

- Através das curvas torque *versus* ângulo-de-rotação obtidas, foi possível a observar outros fatores, e proceder outras análises que não seriam viáveis simplesmente através dos valores $T_{máx}$ e T_{res} fornecidos pelo torquímetro analógico, destacando-se:
 - A forma da curva permite identificar solos suscetíveis à vibração;
 - O valor de $T_{máx}$ é bem definido através de um pico inicial. O ângulo-de-rotação em que ocorre esse pico depende do tipo de solo (vide item 6.7 do Capítulo 6);
 - O torque residual deve ser medido no instante em que é completada a segunda volta (vide item 6.6 do Capítulo 6);
 - A curva permitiu a comparação dos valores obtidos através dos torquímetros elétrico e analógico;
 - Verificou-se que as medidas obtidas através do torquímetro analógico fornecem resultados satisfatórios;
 - Mostrou-se, através da curva, que é possível estudar o comportamento do solo em função do tempo, após o solo sofrer deformação;
- A relação $T_{máx}/N$ pode ser utilizada como um parâmetro para previsão do comportamento do solo, quando da implantação de um elemento de fundação. Entretanto, deve-se tomar cuidado quando da utilização dessas relações como parâmetro de Classificação de Solos ou aferição do índice de resistência N , pois os quais, como demonstrado nos Capítulos 6 e 7, são valores regionais e

mesmo assim, apresentam grande variabilidade, provavelmente devido a variações sofridas durante seu processo de formação do solo. Apesar de os histogramas demonstrarem a variabilidade das relações $T_{m\acute{a}x}/N$ para análises regionalizadas, pode-se constatar que os valores médios mostram algumas tendências. Por exemplo: para $T_{m\acute{a}x}/N$ menor do que um, o solo é sempre colapsível, muito embora existam solos comprovadamente colapsíveis, como os de São Carlos, cujo $T_{m\acute{a}x}/N$ é 1,73. Por outro lado, solos siltsos e argilas marinhas sempre apresentaram $T_{m\acute{a}x}/N$ maiores do que um;

- A relação $T_{m\acute{a}x}/T_{res}$ é um indicativo da perda de atrito lateral de estacas Pré-Moldadas, em solos arenosos, quando submetidas a drapejamento;
- Ficou demonstrada a dificuldade de se correlacionar resultados de ensaios de campo de métodos executivos tão diferentes, como o *CPT* e o *SPT-T* (vide Capítulo 8), fato esse já esperado que o solo reaja de formas distintas quando solicitado de maneiras diferentes;
- Até o momento, os métodos mais utilizados na prática para previsão da capacidade-de-carga de estacas ainda merecem aprimoramentos, devido à grande variabilidade das relações PR_{CAL}/PR constatada no Capítulo 9;
- A metodologia aqui proposta parece ser um bom caminho na direção de se estimar a capacidade-de-carga de estacas. A utilização da adesão fT associada a um fator multiplicador, o qual é função da relação $T_{m\acute{a}x}/N$, (indicativo da reação do solo quando submetido à cravação de um elemento de fundação) fornece uma previsão segura da parcela do atrito lateral, pois não está fundamentada em correlações com outros parâmetros geotécnicos, e sim, em medidas diretas no campo.

- Também ficou constatada que, tanto durante a realização dos ensaios, como durante a observação da execução do *SPT-T* em outras oportunidades, a medida do torque também melhora a qualidade da sondagem, não em função de uma possível aferição através do *T*, mas sim, porque o sondador, quando solicitado para fazer a medida do torque, realiza toda a sondagem à percussão mais cuidadosamente;
- Através do acompanhamento de ensaios *SPT-T* verificou-se que várias empresas executoras possuem dúvidas quando ao procedimento do ensaio, mostrando-se assim, a necessidade urgente de padronização do ensaio.

Como conclusão final, comprova-se, através desta pesquisa, que a medida do torque, se utilizada criteriosamente, pode trazer uma importante contribuição para os profissionais que utilizam a sondagem à percussão, uma vez que esse ensaio é empregado rotineiramente em nosso país.

Através das conclusões anteriores, incentiva-se à continuidade de pesquisas sobre o *SPT-T* sendo algumas sugestões apresentadas a seguir:

- Realização de um maior número de pesquisas que envolvam provas-de-carga instrumentadas associadas a ensaios de campo como o *SPT-T*, *CPT*, *DMT* e *PMT*, além de medidas de sucção;
- Com o desenvolvimento da mecânica de solos não saturados, a medida da sucção torna-se cada vez mais um importante parâmetro no entendimento do comportamento do solo. Portanto, a exemplo de Carvalho *et al* (2000) são

necessárias pesquisas que estudem a influência da sucção na adesão-atrito solo-amostrador;

- Existe uma certa dificuldade em se encontrar torquímetros analógicos com ponteiro-de-arraste a preços comercialmente compensadores. Assim, propõe-se aqui, o desenvolvimento de pesquisas junto a fabricantes, as quais favoreçam a construção de torquímetros analógicos com ponteira-de-arraste, de baixo custo e com larga aceitação no mercado;
- O desenvolvimento de um torquímetro elétrico de fácil manuseio em campo pode vir a ser uma ferramenta importante e barata, pois, além de fornecer resultados de $TE_{máx}$ e TE_{res} isentos do erro humano, também proporciona a curva torque *versus* ângulo-de-rotação, a qual pode ser utilizada como uma ferramenta a mais para ajudar na previsão da reação do solo quando lhe é aplicado um elemento de fundação;
- No Capítulo 11 sugeriu-se que a velocidade-de-rotação do torquímetro deveria ser ajustada em função de tornar a medida confortável ao operador. Mas, para se dar maior credibilidade ao ensaio, faz-se necessária uma pesquisa que determine a velocidade-de-rotação adequada e, se essa não corresponder àquela que é apropriada ao operador, deve-se sugerir então um fator de correção em função da velocidade-de-rotação.

ANEXO A – ENSAIO SPT – FATORES

INTERVENIENTES

Segundo a ABGE (1999), sondagem de simples reconhecimento com SPT é um método para investigação de solos na qual a perfuração é feita através do trado ou circulação de água, sendo utilizada para a obtenção de amostras de solo, medida de índice de resistência à penetração e e observação do nível d'água subterrânea. É possível, ainda no final do ensaio à penetração, medir o torque necessário para a rotação do amostrador padrão cravado, bem como executar outros ensaios, aproveitando-se da perfuração.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 6484 (1980), prescreve o método de execução de sondagens de simples reconhecimento do subsolo, também denominadas sondagens à percussão, cuja finalidade é tanto a exploração por perfuração e amostragem do solo como estabelecer medidas do índice de resistência à penetração, para fins de Engenharia Civil.

A ABNT sugere outras duas normas para complementar a primeira: a NBR 7250, que fixa as condições exigíveis para a identificação e formulação da nomenclatura descritiva baseadas em exames tátil-visuais de amostras de solos, obtidas em sondagens de simples reconhecimento para fins da engenharia civil; a NBR 8036 , que fixa as condições exigíveis na programação das sondagens de

simples reconhecimento dos solos destinada à elaboração de projetos geotécnicos para construção de edifícios. Esta programação abrange o número, a localização e a profundidade das sondagens.

Apesar de o ensaio já ser padronizado, muitas empresas ainda insistem em executá-los de maneiras diferentes. Os diversos equipamentos e procedimentos para a realização do ensaio *SPT* induzem à diferentes energias de cravação causando alteração do valor *N*. Para se utilizarem correlações em função desse resultado, deve-se considerar a forma de execução e os equipamentos utilizados no respectivo ensaio.

Assim, além da revisão bibliográfica a respeito da leitura do torque no ensaio *SPT*, também é importante apresentar os fatores intervenientes da própria Sondagem de Simples Reconhecimento. Os três grandes trabalhos que discutem muito bem este assunto são: Mello (1971), Decourt (1989) e Belincanta (1998).

Um marco na história do *SPT* foi o Estado da Arte apresentado por Mello (1971) o qual apresentou tanto os fatores intervenientes, como correlações com parâmetros geotécnicos. Para esse autor, embora existam muitas dúvidas com relação aos fatores que afetam os resultados de sondagem de simples reconhecimento, o ensaio pode ser utilizado para fins geotécnicos com um certo grau de confiabilidade, pois, problemas em fundações atribuídos a erros em ensaios que medem a resistência à penetração são da ordem de 1/1000. Contudo, após 30 anos de sua publicação, muitas questões abordadas pelo autor continuam sem definição.

Em 1989, Decourt expressou sua importante contribuição na *International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* e, mais recentemente, Belincanta (1998) defendeu uma tese de doutoramento intitulada Avaliação de Fatores Intervenientes no Índice de Resistência à Penetração do SPT. Esses três trabalhos, conjuntamente, vem confirmar a importância deste ensaio na prática de engenharia de fundações no Brasil.

A seguir estão apresentados os fatores intervenientes e as respectivas discussões dos três autores:

A.1 – VARIAÇÕES DA ENERGIA DINÂMICA E DA ENERGIA DE PENETRAÇÃO TRANSMITIDA À PONTA DO AMOSTRADOR

A eficiência "e" pode ser definida como a relação entre a energia potencial teórica do martelo, E_0 , e a energia que é realmente transferida à haste no instante do impacto, gerando uma onda de compressão de energia dinâmica E , que, propagando-se pela haste, alcança o amostrador.

$$e = \frac{E}{E_0} \quad (52)$$

em que E_0 : Energia potencial teórica do martelo

$$E_0 = 65 \times 75 = 4875 \text{ kgf.cm} = 478 \text{ J} \quad (53)$$

E : Energia dinâmica transferida às hastes

A energia E que se transfere às hastes é influenciada por vários fatores, os quais são discutidos a seguir baseando-se, principalmente nos estudos de Mello (1971), Decourt (1989) e Belincanta (1998), não havendo tanta preocupação com a ordem cronológica dos trabalhos, mas antes com a maneira mais didática de apresentá-los.

Portanto, inicia-se a discussão com Decourt (1989), que propôs uma equação de correção do valor N em função do sistema de acionamento do martelo, e_1 , da massa da cabeça-de-bater, e_2 , e do comprimento da composição de hastes, e_3 , eq. (54):

$$E_i = e_1 * e_2 * e_3 * E_0 \quad (54)$$

E_i – estimativa de energia transferida às hastes

e_1 – coeficiente função do sistema de acionamento do martelo, Figura 195

e_2 – coeficiente função da massa da cabeça-de-bater, Figura 196

e_3 – coeficiente função do comprimento da composição de hastes, Quadro 178

E_0 - energia nominal do martelo (474J)

Além da equação (54), Decourt (1989) também apresentou um resumo dos fatores que afetam o índice de resistência à penetração ,Quadro 179.

Muitos desses fatores já haviam sido discutidos por Mello (1971) e recentemente foram estudados por Belincanta (1998). As conclusões que representam um marco na história do *SPT*, estão apresentadas após o Quadro 180.

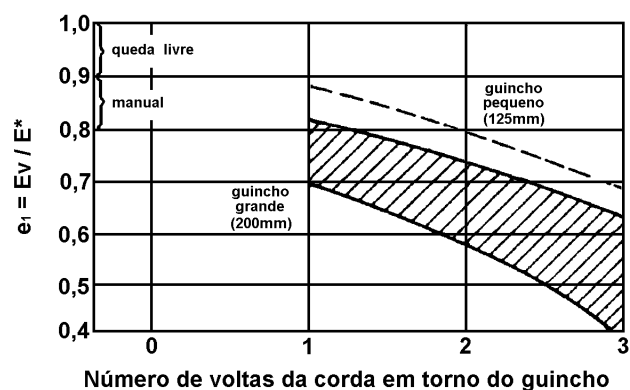


FIGURA 195 - Fator de eficiência e_1 - função do acionamento do martelo *apud* Decourt (1989)

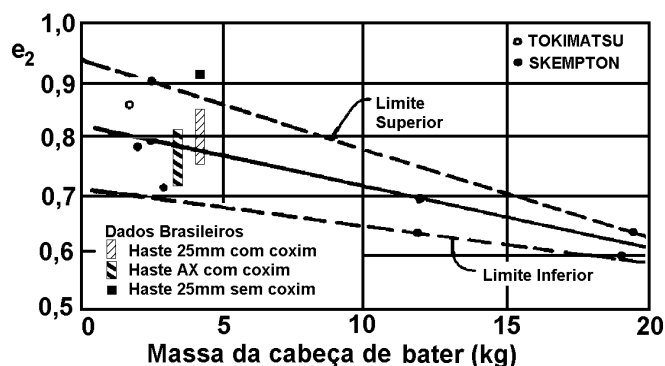


FIGURA 196 - Fator de eficiência e_2 - função da massa da cabeça-de-bater *apud* Decourt (1989)

QUADRO 178 - Coeficiente e_3 , que leva em consideração o comprimento da composição *apud* Decourt (1989)

m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
e_3	0,33	0,55	0,70	0,80	0,85	0,90	0,93	0,96	0,99	1,0
$m = \frac{M_{\text{composição}}}{M_{\text{martelo}}}$ $M_{\text{composição}}$ – massa total da composição de hastes M_{martelo} – massa do martelo										

QUADRO 179 - Fatores que afetam o índice de resistência a penetração *N*

Fator	Efeito no valor <i>N</i>
Forma de erguer e soltar o martelo	Figura 195
Varição da altura de queda do martelo de 760mm	aumenta ou diminui
Utilização de cabo de aço no lugar da corda	aumenta
Lubrificação insuficiente da roldana	aumenta
Atitude de operadores	aumenta ou diminui
Utilização de peso não correto	aumenta ou diminui
Golpeamento na cabeça-de-bater não concêntrico	aumenta
Não utilização da haste guia	aumenta
Erro na contagem do número de golpes e penetração	aumenta ou diminui
Limpeza inadequada do material no fundo do furo	diminui
Diâmetro maior do furo	Quadro 180
Utilização de bomba de alta capacidade	aumenta
Lama de estabilização em vez de revestimento (areias)	aumenta
Comprimento das hastes	Quadro 178
Massa das hastes	Quadro 180
Amostrador velho	aumenta
Bico do amostrador acima da base do revestimento (areias)	aumenta
Massa da cabeça-de-bater	Figura 196
Amostrador tampado com pedregulho	aumenta
Martelo sem coxim	Quadro 180
Frequência de golpes	Quadro 180
Intervalo de penetração	
0-30cm em vez de 15-45cm	diminui
30-60cm em vez de 15-45cm	aumenta
Utilização de liners	Quadro 180

QUADRO 180 - Fatores de correção de valores de *N* medidos *apud* Decourt (1989)

Massa das Hastes	6 – 8 kg / m	1,00	Decourt <i>et al</i> (1989)
L < 8m	3,23 kg / m	1,15	
Amostrador	Normal com liners	1,00	Skempton (1986)
	Sem liners	1,20	
Diâmetro do Furo (somente areias)	65 – 115mm	1,00	Skempton (1986)
	150 mm	1,05	
	200 mm	1,15	
Frequência de golpes (somente areias)	30 – 40 golpes/min.	1,00	Seed <i>et al</i> (1985)
	$N_{60} < 20$	0,95	
	$N_{60} > 20$	1,05	
Coxim de madeira Dura	Sem	1,00	Decourt <i>et al</i> (1989)
	Novo	0,95	
	Velho	0,90	

A.1.1 – Martelo

Para Mello (1971), num mesmo tipo de haste, a eficiência é influenciada pela corda flexível que suspende o martelo (corda de cinzel ou cabo de aço) e pela maneira como é deixado cair o peso. Recomenda-se que seja utilizado o sistema mecânico para que estes efeitos sejam eliminados. Esta afirmação foi corroborada por Belincanta (1998), o qual, comparando a eficiência de acionamento com corda e gatilho (podendo ser considerado um método mecânico) com o acionamento utilizando corda flexível, concluiu ser a eficiência do primeiro maior. Drumright *et al* (1996) estudaram esses dois equipamentos e verificaram que a diferença no valor de N pode chegar a 50% e por isso cada empresa executora deve deter um perfeito conhecimento de seu equipamento para poder utilizar seus dados na prática, Figura 197.

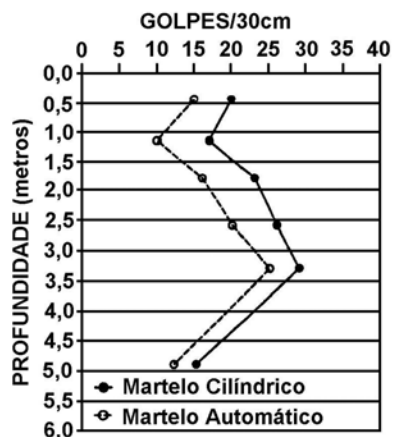


FIGURA 197 - Média dos resultados do SPT em função da profundidade para o martelo automático e com corda manual *apud* Drumright *et al* (1996)

Já é de conhecimento geral que existem vários tipos de martelo e cada qual impõe uma energia diferente à composição haste-amostrador. Belincanta *et al* (1994) apresentaram, no Quadro 181, um resumo das eficiências encontradas por Decourt (1989) e Skempton (1986), e apresentando ainda coeficientes-de-correção entre os valores N_{60} e N sendo que o N_{60} corresponde ao valor N para uma eficiência de 60%.

Vicente (2000) mediu a eficiência, segundo a metodologia proposta por Belincanta (1998), utilizando martelos com e sem dispositivo de gatilho para disparo e verificou que, em ambas as situações, os resultados foram compatíveis com a média brasileira.

Belincanta (1998) estudou a influência da utilização de cabo de aço no lugar de corda sobre os valores de N e torque máximo, e observou que a diferença não foi significativa.

Ao estudar a influência do tipo de martelo na eficiência, Belincanta (1998) comparou o martelo vazado com coxim de madeira e o martelo com pino-guia, ambos contemplados pela NBR6484/80, operados manualmente, utilizando cadeça-de-bater normal (3,5 kg), acoplada a um conjunto de hastes de 3,05kg/m. Esse estudo levou à conclusão de que o martelo cilíndrico vazado apresentou-se 11,5% menos eficiente do que o martelo com pino-guia. Por outro lado, comparando as eficiências obtidas utilizando martelo, com e sem coxim de madeira, chegou-se à conclusão de que os resultados são estatisticamente semelhantes.

QUADRO 181 - Fatores de correção do índice de resistência à penetração do SPT relacionados à transferência de energia

País	Tipo de Martelo	Tipo de Operação do Martelo	Eficiência Média 100Ei/474 (joules)	Coefficiente de Correção N_{60}/N
Japão	<i>Donut</i>	Gatilho automático	78	1,30
	<i>Donut</i>	Tambor com duas voltas de corda	65	1,10
China	<i>Pilcon</i>	Gatilho automático	60	1,00
	<i>Donut</i>	Manual	55	0,90
USA	<i>Safety</i>	Tambor com duas voltas de corda	55	0,90
	<i>Donut</i>	Tambor com duas voltas de corda	45	0,75
UK	Pilcon	Gatilho automático	60	1,00
	Old Standard	Tambor com duas voltas de corda	50	0,80
Brasil	Pinweight	Manual	70	1,20

A altura de queda do martelo também é um fator importante citado por Mello (1971) uma vez que, quanto maior a altura de queda, maior energia e como consequência, menor número de golpes necessários para cravar os 45cm. Dados numéricos foram apresentados por Belincanta (1998), que estudou a influência da altura de queda do martelo no valor N e no torque máximo, mudando-a de 75cm para 50cm, quando se observou que os valores aumentaram de 46,2% e 16,6%, respectivamente, para a altura de queda menor. Isto quer dizer que, diminuindo a altura de queda do martelo, diminui-se a energia, aumentando assim o número de golpes necessários para cravar os 45 cm do amostrador.

Não se deve esquecer também de que a má lubrificação nas roldanas pode causar maior amortecimento na queda do martelo, diminuindo, assim, a eficiência da energia.

O martelo de massa não-correta altera a energia, mudando o valor N . Neste estudo, outro trabalho importante é o de Aguirre *et al* (1998) que compararam o

ensaio realizado, segundo a norma brasileira NBR-6484 (1980) com o da prática argentina. Seu objetivo foi correlacionar os resultados dos dois ensaios para tornar possível a utilização de um ou outro na prática de engenharia no Mercosul.

Na prática argentina são utilizados martelos com 100kg e altura de queda 0,76m ou 70kg e 0,70m. A Figura 198 mostra a comparação dos resultados de ensaio SPT realizados com martelo 65 kg e queda de 0,76m, NBR-6484 (1980), e martelo 100 kg com queda a 0,76m (prática argentina). A energia do segundo martelo é maior, contudo, observa-se que os valores de N para esse ensaio são menores.

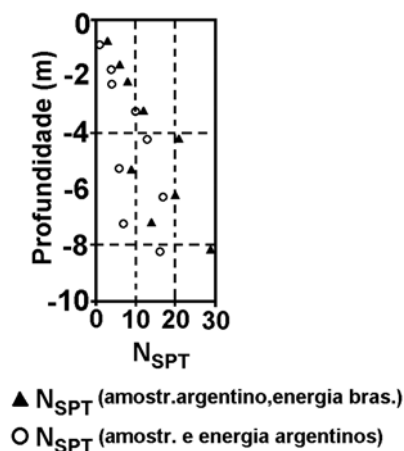


FIGURA 198 - Influência da utilização de martelos de massas diferentes no valor N

A.1.2 – Cabeça-de-bater

Outro fator importante para a eficiência é a massa da cabeça-de-bater. Belincanta (1998) estudou a influência desse fator comparando três tipos de cabeça-de-bater : normal, 3,5kg, grande, 14kg e pequena, 1,2kg, Figura 199.

Concluiu que a eficiência de energia dinâmica transferida às hastes é uma função decrescente em relação o tamanho da cabeça-de-bater. Além disso, o golpeamento não centralizado diminui a área de contato, diminuindo a energia e aumentando o valor N .



FIGURA 199 - Cabeça-de-bater de tamanho normal, 3,6kg, grande, 14kg e pequena 1,2kg *apud* Belincanta (1998)

A.1.3 – Comprimento e Tipo de Material das Hastes

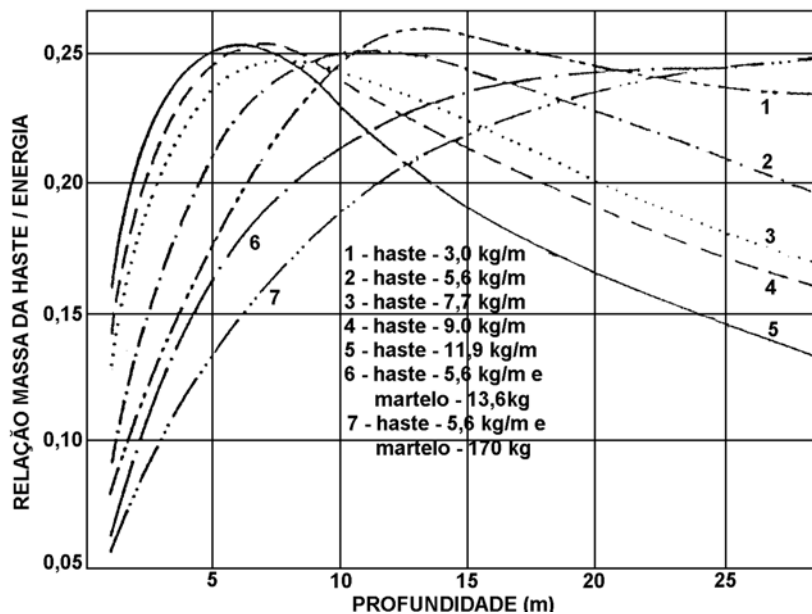
Mello (1971), utilizando a teoria Newtoniana de Impacto dos Corpos Rígidos, considerou que o amostrador e as hastes trabalham em equilíbrio. Desta maneira, a penetração do amostrador é condição da energia constante transmitida e propôs, então, a seguinte equação:

$$(e * W * H) * W * Wp * \left(\frac{1 + \lambda}{W + Wp} \right)^2 = (e * W * H) * (1 + \lambda)^2 * \frac{W * Wp}{(W + Wp)^2} \quad (55)$$

em que

e	: eficiência
H	: altura de queda do martelo
W	: massa do martelo de bater
Wp	: massa do amostrador + hastes
λ	: coeficiente de restituição

O autor mostra, através da Figura 200 que o tipo de haste influi na eficiência da energia e, a partir de 10m, o efeito de profundidade não é relevante. Por outro lado, ele considera que a utilização do coxim de madeira é importante, porque, se o impacto for de metal com metal, existirá uma mudança no coeficiente de restituição λ , afetando o resultado do *SPT*.



**FIGURA 200 - Efeito da profundidade em função da relação massa-energia
apud Mello (1971)**

Schmertmann *et al* (1979) e Palacios (1977) *apud* Belincanta (1998) apresentaram um outro mecanismo de propagação da onda. A energia é transmitida ao martelo em impulsos de tensão, cuja duração depende do tipo do martelo e do material das hastes.

Desta maneira, quando do impacto do martelo na cabeça-de-bater, uma onda de tensão se propaga no sentido descendente da composição das hastes, composta de impulsos de tensão sucessivos e decrescentes na intensidade, até

aproximadamente o tempo $2\lambda/c$, onde λ é o comprimento da composição e c é a velocidade de propagação daqueles impulsos de tensão. O martelo e as hastes permanecem em contato até este tempo de $2\lambda/c$, quando do início da chegada dos impulsos refletidos junto ao amostrador. Posteriormente, o martelo e a cabeça de bater entram novamente em contato, porém, muito tardiamente para influir de maneira significativa na cravação do amostrador (Schmertmann *et al* (1979) *apud* Belincanta (1998)). Este fenômeno é exemplificado na Figura 201.

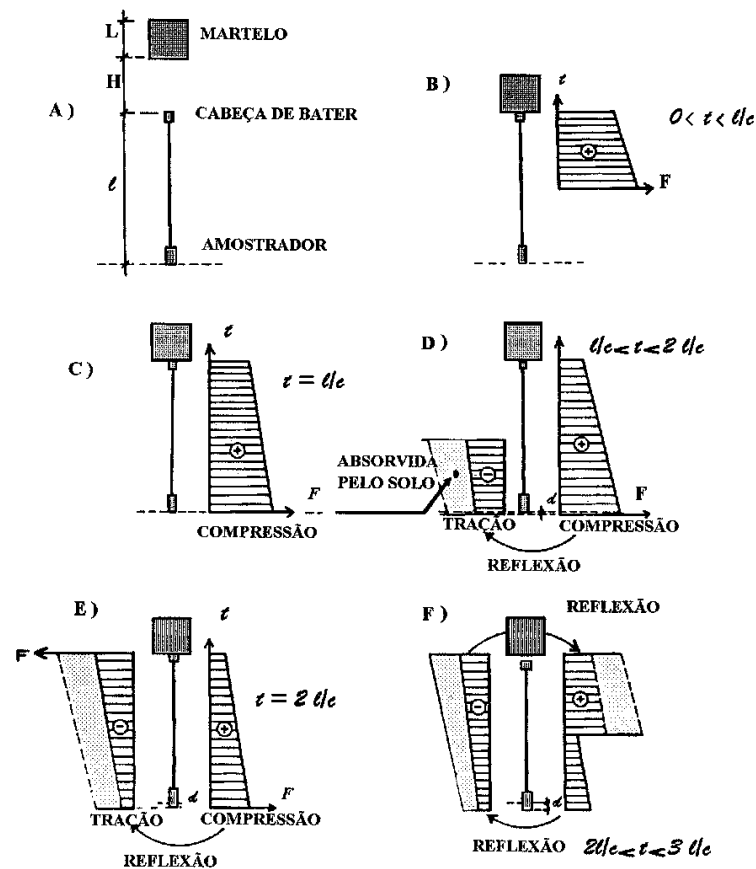


FIGURA 201 - Esquema simplificado de propagação de ondas de tensão no SPT - Palacios (1977) *apud* Belincanta (1998)

Na Figura 202, a teoria Newtoniana é comparada à da propagação da onda, podendo-se observar então que a diferença entre ambas não é significativa.

Schmertmann & Palacios (1979) mostraram que a eficiência diminuía com o decréscimo do comprimento das hastes e, baseado nessa conclusão, Skempton (1986) apresentou fatores de correção para o comprimento das hastes (Quadro 182). Para esses mesmos autores, a massa e dureza das hastes não tinham influência na eficiência da energia para um mesmo comprimento.

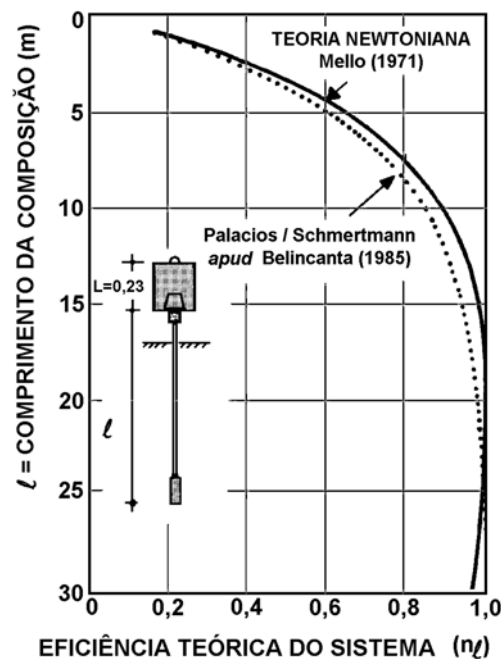


FIGURA 202 - Eficiência em função da profundidade das hastes *apud* Belincanta *et al* (1994)

QUADRO 182 - Fatores de correção em função do comprimento das hastes

Comprimento das hastes (m)	> 10	6-10	4-6	3-4
Fator de Correção	1,0	0,95	0,85	0,75

A.2 – AMOSTRADOR VELHO

A sapata do amostrador ou outro componente do amostrador danificados aumentam a resistência, aumentando o número de golpes.

A.3 – UTILIZAÇÃO DE TUBOS PLÁSTICOS DENTRO DO AMOSTRADOR

Para Skempton (1986), amostradores com liners necessitam de aproximadamente 20% a mais de golpes por 0,305m de penetração do que o amostrador sem liners, sendo este fato melhor observado em areias compactas do que em areias fofas. Os fatores de correção foram apresentados por Decourt (1989) no Quadro 180.

No trabalho de Aguirre *et al* (1998), além de martelos diferentes, os autores também compararam os amostradores utilizados pelos dois países. O amostrador argentino é constituído de um tubo inteiriço de 547mm de comprimento com uma camisa plástica de PVC, de 49 mm de diâmetro interno, dividida, no sentido longitudinal, em três partes iguais. O diâmetro da sapata do amostrador muda conforme o tipo de solo tornando difícil a padronização. A Figura 203 apresenta a comparação do valor N para ensaios realizados com o amostrador segundo NBR-6484 (1980) e com o amostrador argentino. Nota-se que os resultados do

amostrador argentino são maiores que do amostrador brasileiro, não existindo paridade entre esses valores.

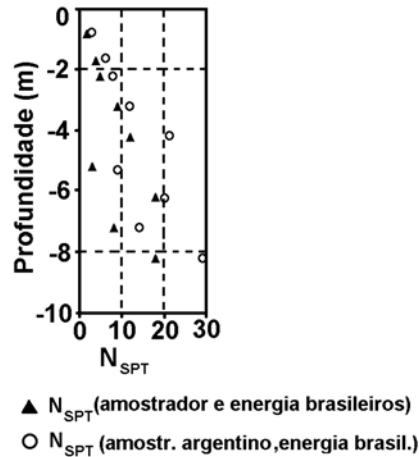


FIGURA 203 - Influência do tipo do amostrador no valor N do SPT

A.4 – PERFURAÇÃO COM O PRÓPRIO AMOSTRADOR

Belincanta (1998) também estudou a influência da sondagem executada com avanço através da cravação direta do amostrador, e verificou serem os valores de N para esse ensaio sistematicamente muito maiores que os resultados de ensaios realizados de acordo com a NB-6484 (1980), o mesmo acontecendo para os torque medidos. Os valores foram em média 58% e 101,7% superiores para o valor N e torque máximo respectivamente.

Guimarães *et al* (2000) e Carvalho *et al* (1998) realizaram ensaios *SPT* com escavação através de cravação direta do amostrador bico-grosso em solos porosos de Anápolis (GO) e Brasília (DF), afirmando não haver substanciais

variações nos dados obtidos através desse método e o da NBR-6484 (1980), e ressaltando ainda, a maior praticidade do procedimento.

É difícil fazer-se uma avaliação dos resultados apresentados por Carvalho *et al* (1998) e Guimarães *et al* (2000) pois, em ambos os casos, não foi medida a eficiência da energia aplicada ao amostrador e, devido à heterogeneidade intrínseca ao solo, é difícil comparar dois métodos de execução do *SPT*.

Por outro lado, é fácil imaginar que a cravação direta do amostrador causa, além de um maior amolgamento ao solo, um aumento na densidade do mesmo, implicando, provavelmente, num aumento do número de golpes para vencer uma mesma penetração, e, igualmente, um aumento do torque também, o que se verifica no Quadro 183 do próprio Carvalho *et al* (1998). Na Figura 204, de Guimarães *et al* (2000), constam resultados diferentes do esperado, nos quais, os valores medidos através do procedimento da NBR-6484 são maiores do que os medidos através do amostrador bico-grosso, estando, assim, em desacordo com o artigo anterior.

QUADRO 183 - Resultados dos ensaios *SPT-T* para o Campo Experimental da Universidade de Brasília

Prof. (m)	Torque - NB-6484 (kgf*m)	Torque - Bico Grosso (kgf*m)	Relação entre o Torque - Bico Grosso e NB-6484
1	1,5	2,0	1,33
2	2,5	2,0	0,80
3	2,5	5,0	2,00
4	5,5	6,0	1,09
5	7,0	13,0	1,86
6	6,0	8,0	1,33
7	3,0	4,0	1,33
8	5,0	7,0	1,40
9	20,0	9,5	0,48
10	20,0	30,0	1,50

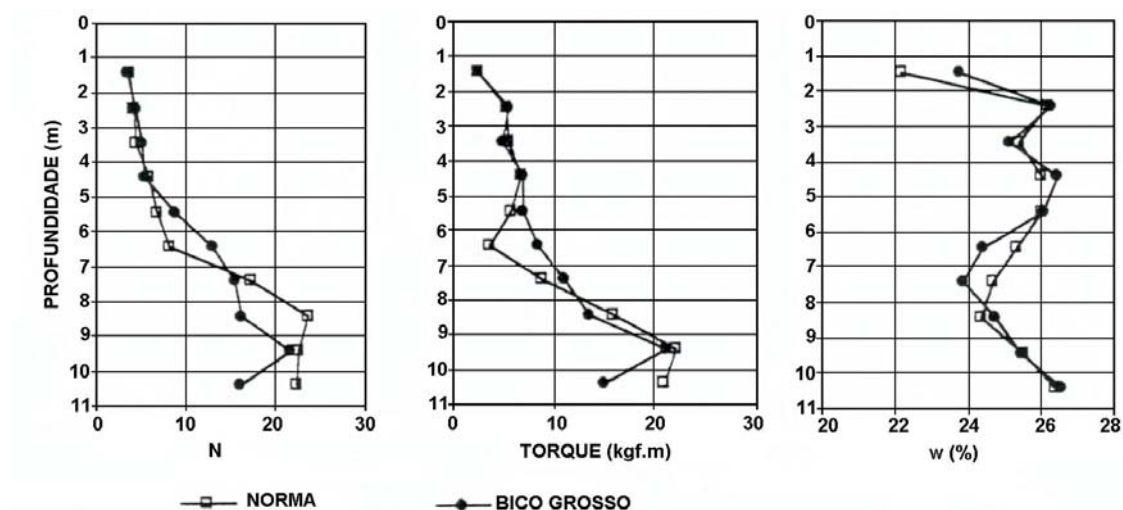


FIGURA 204 - Resultados dos ensaios *SPT-T* de Guimarães *et al* (2000)

A.5 – DIÂMETRO E LIMPEZA DO FURO

Quanto maior o diâmetro do furo, maior será o alívio de tensões na base, diminuindo o valor do *SPT*.

Resíduos que ficam acumulados no tubo de revestimento ou no amostrador podem aumentar o atrito, aumentando o número de golpes. Porém existem outras situações em que o solo muito remexido perde sua resistência natural, diminuindo o valor *N*, isto é, perde-se a referência de confiabilidade do resultado.

A.6 – UTILIZAÇÃO DE BOMBA DE ALTA CAPACIDADE

Segundo Belincanta (1998), a bomba d'água deve possuir capacidade suficiente para desagregar o solo e para realizar a adequada limpeza durante a

perfuração. Por outro lado, uma bomba de capacidade acima da desejada pode remexer o solo, diminuindo sua resistência, o que não corrobora Decourt (1989).

A.7 – LAMA DE ESTABILIZAÇÃO *VERSUS* TUBO DE REVESTIMENTO

Estes recursos são utilizados quando a perfuração atinge o nível d'água para ajudar na estabilidade da parede de solo do furo. Tanto Mello (1971), como Belincanta (1998) sugerem a utilização da lama para manter o equilíbrio hidrostático e estabilidade do furo de sondagem. A grande desvantagem de se utilizar estes recursos é a dificuldade de se obter o nível d'água.

A.8 – TIPO E CONDIÇÃO DO SOLO

Mello (1971) citou um exemplo extremo da influência do tipo de solo: a presença de pedregulhos maiores do que o diâmetro do amostrador. Este fato pode conduzir a valores de *SPT* muito maiores do que o real. Solos arenosos e siltsosos devem ter procedimento especial abaixo do nível d'água.

A.9 – RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM AREIAS PURAS

Segundo Mello (1971), é muito difícil a retirada de amostras indeformadas de areias, principalmente a grandes profundidades e abaixo do nível d'água. O mesmo já não acontece com frequência com as argilas, possibilitando assim, a execução de ensaios de laboratório. Desta maneira, o *SPT* é considerado um ensaio para materiais granulares.

Por outro lado, a relação entre o *SPT* e a compacidade das areias está ligada à resistência ao cisalhamento, que por sua vez, é influenciada pela densidade relativa da camada de areia.

Pinto (1966), que estudou a influência da granulometria das areias na capacidade-de-carga investigada por meio de modelos, chegou às seguintes conclusões: a compacidade, o formato dos grãos e a distribuição granulométrica influem na capacidade-de-carga das areias ensaiadas em modelos, mas quanto ao tamanho dos grãos, nada se pode concluir. Quanto à resistência à penetração, o autor chegou à conclusão de que ela é um indicativo muito mais fiel da capacidade-de-carga do que o é a compacidade relativa, pois, areias com compacidades relativas diferentes podem apresentar a mesma resistência à penetração.

Schnaid (2000) resumiu os fatores que afetam a penetração em solos granulares e seus efeitos e este estudo está apresentado no Quadro 184,.

QUADRO 184 - Influência das propriedades de solos granulares na resistência à penetração *apud* Schnaid (2000)

Fator	Influência	Referências
Índice de vazios	Redução do índice de vazios aumenta a resistência à penetração	Terzaghi & Peck (1967); Gibbs & Holtz (1957); Holubeck <i>et al</i> (1973); Marcusson <i>et al</i> (1977)
Tamanho médio da partícula	Aumento do tamanho médio aumenta a resistência à penetração	Schultze <i>et al</i> (1961); DIN 4094; Clayton <i>et al</i> (1982); Skempton (1986)
Coeficiente de uniformidade	Solos uniformes apresentam menor resistência à penetração	DIN 4094 - Parte 2
Pressão Neutra	Solos finos densos dilatam-se, aumentando a resistência; solos finos fofos podem se liquefazer no ensaio	Terzaghi & Peck (1967); Bazaraa (1967); de Mello (1971); Rodin <i>et al</i> (1974); Clayton <i>et al</i> (1982)
Angulosidade das partículas	Aumento da angulosidade aumenta a resistência à penetração	Holubec & D'Appolonia (1973); DIN 4094
Cimentação	Aumento da resistência	DIN 4094 - Parte 2
Nível de Tensões	Aumento da tensão vertical ou horizontal aumenta a resistência	Zolkov <i>et al</i> (1965); de Mello (1971); Dikran (1983); Clayton <i>et al</i> (1985); Schnaid & Houlsby (1994)
Idade	Aumento da idade do depósito aumenta a resistência	Skempton (1986); Barton <i>et al</i> (1989); Jamiolkowski <i>et al</i> (1988)

A.10 – RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM SOLOS COESIVOS

Para solos coesivos, Schnaid (2000) afirmou que a resistência à penetração é função da resistência não drenada, S_u , e que os fatores que a controlam são: plasticidade, sensibilidade e fissuração da argila. Também considerou que a resistência ao cisalhamento não drenada não é propriedade do solo, mas sim, é função da trajetória de tensões, dependendo, por sua vez, do ensaio utilizado para a sua determinação.

A.11 – FATORES HUMANOS

Este ensaio é praticamente manual, portanto, muito suscetível a erro humano. No entanto, para Mello (1971), a interferência do erro humano, numa sondagem, é menor do que num ensaio de laboratório. Isto porque o sondador executa apenas um tipo de ensaio, o *SPT*, enquanto que um laboratorista realiza vários tipos de ensaios no laboratório.

Contudo, os operadores devem estar cientes de que mudanças no procedimento padrão alteram a energia que chega ao amostrador, com risco de comprometimento da validade dos resultados. Além disso, a atitude do operador pode conduzir a erro na contagem do valor *N*.

A.12 – COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO MANUAL E MECÂNICA DE EXECUÇÃO DA SONDAÇÃO DE SIMPLES RECONHECIMENTO

Recentemente foi publicado um artigo no SEFE IV – BIC, de autoria de Baillot & Ribeiro Jr. (2000), no qual se comparam os resultados obtidos através da execução do ensaio *SPT* utilizando martelo automático modelo CME, montado sobre chassi de um caminhão e aqueles resultados obtidos através do procedimento manual, seguindo a ABNT-NBR 6484.

Sem dúvida, o primeiro equipamento representa um avanço positivo na execução do *SPT*. Quanto à comparação dos resultados, é difícil uma avaliação porque, ainda uma vez, não foi medida a eficiência da energia de cravação.

Os Quadros 185, 186 e 187 apresentam os resultados do ensaio manual, do mecânico utilizando a norma da ABNT e do mecânico, utilizando a norma da ASTM. Comparando-se as médias apresentadas nos três quadros, observa-se grande diferença nos resultados, muito embora o autor tenha afirmado, em sua conclusão no referido artigo, que os processos podem ser considerados equivalentes.

A equiparidade dos resultados foi recentemente reforçada pela dissertação de Villefort (2001), na qual, foram também comparados resultados obtidos através dos processos de execução manual e mecanizado. Esta autora verificou a influência em se utilizar os diferentes tipos de martelo (manual *versus* automático), os dois tipos de amostrador (ABNT *versus* ASTM) e os dois tipos de haste (1” *versus* AW). Concluiu-se então que, de uma maneira geral, não existe diferença significativa nos resultados.

Contudo, o equipamento mecanizado permite a utilização de trado helicoidal abaixo do nível d’água, fato que, segundo Vicente (2000), pode causar um efeito de sucção no furo mascarando os resultados.

QUADRO 185 - Processo manual:variabilidade do SPT
***apud* Baillot & Ribeiro Júnior (2000)**

Prof. (m)	Média (%)	Desvio (%)	Faixa de Incerteza (%)	
			GC = 68,27%	GC = 95,45%
01 a 05	22,20	11,41	22,20 ± 11,41	22,20 ± 22,82
06 a 10	26,14	9,18	26,14 ± 9,18	26,14 ± 18,36
11 a 15	25,29	12,88	25,29 ± 12,88	25,29 ± 25,76
Geral	24,22	11,14	24,22 ± 11,14	24,22 ± 22,28
GC = grau de confiança				

**QUADRO 186 - Processo mecânico (ABNT) :variabilidade do SPT
apud Baillot & Ribeiro Júnior (2000)**

Prof. (m)	Média (%)	Desvio (%)	Faixa de Incerteza (%)	
			GC = 68,27%	GC = 95,45%
01 a 05	20,23	11,27	$20,23 \pm 11,27$	$20,23 \pm 22,54$
06 a 10	19,53	8,58	$19,53 \pm 8,58$	$19,53 \pm 17,16$
11 a 15	15,58	10,16	$15,58 \pm 10,16$	$15,58 \pm 20,32$
Geral	18,52	10,15	$18,52 \pm 10,15$	$18,52 \pm 20,30$
GC = grau de confiança				

**QUADRO 187 - Processo mecânico (ASTM) :variabilidade do SPT
apud Baillot & Ribeiro Júnior (2000)**

Prof. (m)	Média (%)	Desvio (%)	Faixa de Incerteza (%)	
			GC = 68,27%	GC = 95,45%
01 a 05	16,79	8,95	$16,79 \pm 8,95$	$16,79 \pm 17,90$
06 a 10	13,66	8,39	$13,66 \pm 8,39$	$13,66 \pm 16,78$
11 a 15	33,17	12,25	$33,17 \pm 12,25$	$33,17 \pm 24,50$
Geral	19,16	9,56	$19,16 \pm 9,56$	$19,16 \pm 19,12$
GC = grau de confiança				

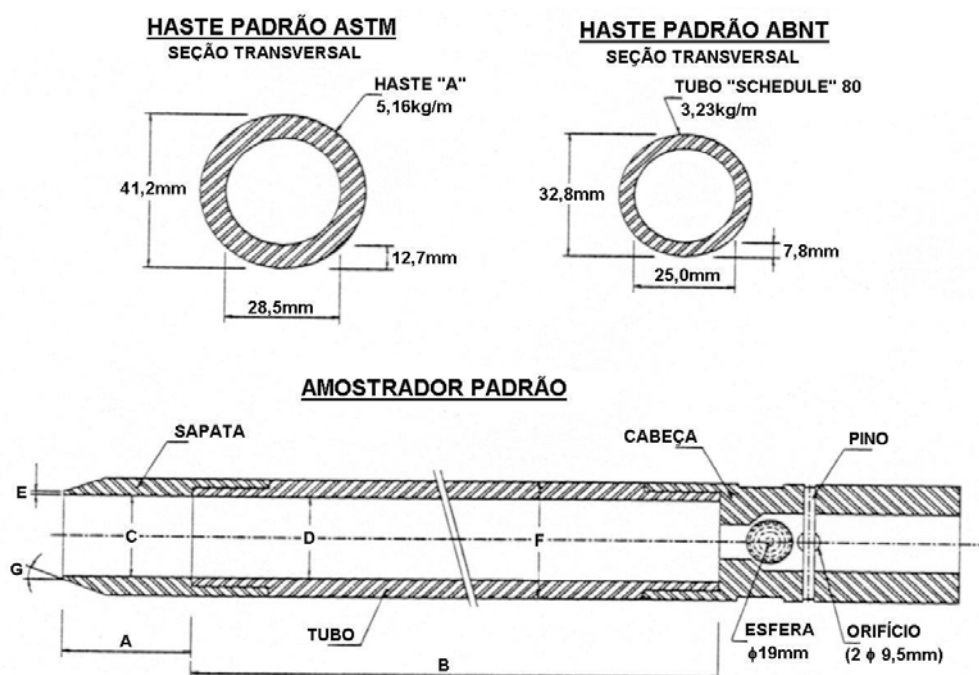


FIGURA 205 - Haste ASTM versus ABNT apud Baillot & Ribeiro Jr. (2000)

A.13 – COMENTÁRIOS

Para melhor demonstrar a influência dos fatores discutidos anteriormente, Skempton(1986) apresentou um exemplo ilustrativo, no qual utiliza os fatores apresentados nos Quadros 181 e 182, considerando seis ensaios, todos com valor N igual a 20, mesmo comprimento de hastes e sempre maiores que 10 metros. O exemplo vem transcrito a seguir:

(a) Ensaio executado no Estados Unidos com amostrador-padrão original, furo de 0,10m, martelo *donut*, cabeça-de-bater 12 kg, tambor grande com duas voltas de corda: $N_{60} = 20 \cdot 0,75 = 15$;

(b) Mesmo equipamento de (a), mas utilizando um amostrador americano moderno, sem *liners* e furo de 0,15m: $N_{60} = 20 \cdot 0,75 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 19$;

(c) Equipamento do Paquistão com amostrador-padrão, furo de 0,10m, martelo *donut*, cabeça-de-bater 7kg ($\eta_d = 0,7$) e acionamento manual ($ER_v = 0,85$): $N_{60} = 20 \cdot 1,0 = 20$;

(d) Equipamento de UK com amostrador-padrão, furo de 0,15m, e martelo Pilcon ou Dando: $N_{60} = 20 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 21$;

(e) Equipamento do Japão com amostrador-padrão, furo de 0,086m, martelo donut, cabeça-de-bater de 2kg e tambor pequeno com duas voltas de corda: $N_{60} = 20 \cdot 1,1 = 22$;

(f) Mesmo equipamento de (e) mas com acionamento através de gatilho Tombi: tambor grande com duas voltas de corda: $N_{60} = 20 \cdot 1,3 = 26$.

Finalmente, se, em qualquer um desses ensaios, o comprimento da haste fosse de 5m, o N_{60} seria 15% menor. Por exemplo, no caso (c), $N_{60} = 0,85 \cdot 20 \cdot 1,0 = 17$.

Segundo Schnaid (2000), é possível avaliar as metodologias empregadas na avaliação de valores de N se considerado o efeito da energia de cravação e o efeito do nível de tensões.

A correção para um valor de penetração de referência, normatizado com base no padrão americano de N_{60} , seria realizada simplesmente através de uma relação linear entre a energia empregada e a energia de referência, a qual corresponde ao sistema mecanizado americano.

$$N_{60} = (N \times \text{Energia aplicada}) / 60 \quad (56)$$

Assim, um ensaio manual realizado, segundo a norma brasileira com energia medida 70% em relação à teórica, cujo resultado $N = 20$, corresponderia a $N_{60} = (20 \times 0,70) / 0,60 = 23$.

O mesmo autor recomendou que, para solos granulares, se avaliasse o efeito das tensões geostáticas *in situ*. Considerando que a resistência à penetração aumenta linearmente com a profundidade (e portanto com a tensão vertical efetiva, para uma dada densidade) e aumenta em função do quadrado da densidade relativa, para σ'_v constante, sugeriu a seguinte correlação, segundo Skempton (1986):

$$N = D_r^2 (a + b \cdot C_\alpha \cdot (\sigma'_v / 100)) \quad (57)$$

Sendo: D_r a densidade relativa;

a, b fatores dependentes do tipo do material;

C_α fator de correção da resistência em função da história de tensões;

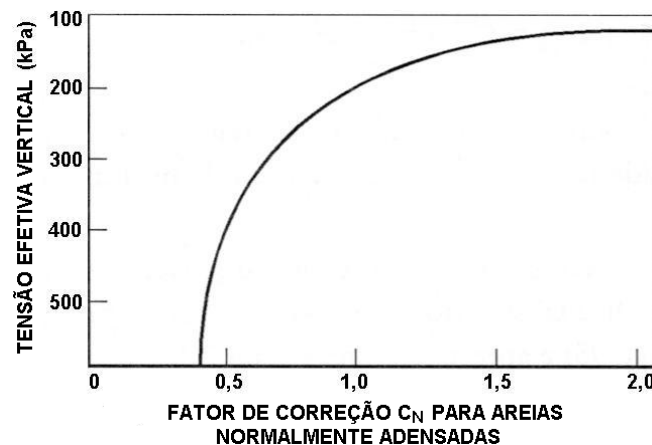
σ'_v tensão vertical efetiva em kPa.

Ainda segundo o mesmo autor, o valor de σ'_v pode ser estimado com razoável grau de precisão, considerando C_α unitário para solos normalmente adensados e aumentado em função do OCR, refletindo por conseguinte, no aumento da tensão efetiva horizontal, σ'_H , e, portanto, nas tensões efetivas médias ($p' = 1/3 (\sigma'_v + 2\sigma'_H)$). Desta maneira, a correção para N seria:

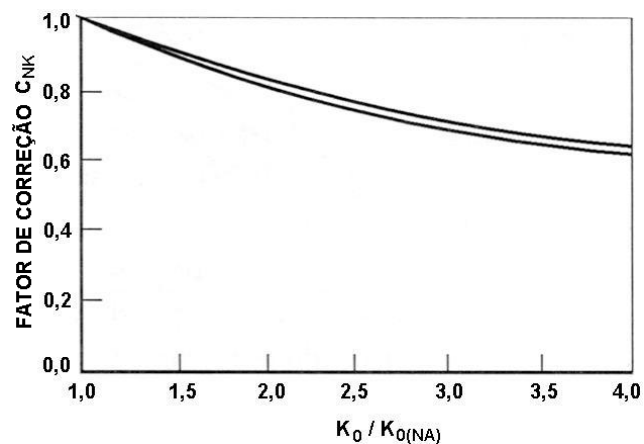
$$N1 = N \times C_N \times C_{NK} \quad (58)$$

Sendo : C_N a correção devida à tensão efetiva de sobrecarga, Figura 206;

C_{NK} a correção para a história de tensões, Figura 207



**FIGURA 206 - Fator de correção para areias normalmente adensadas
apud Schnaid (2000)**



**FIGURA 207 - Fator de correção para a história de tensões
apud Schnaid (2000)**

Através do estudo dos fatores abordados anteriormente, conclui-se que o procedimento de ensaio é muito importante para a validade dos resultados e, embora existam métodos que corrijam o valor de N , deve-se sempre procurar executar o ensaio de acordo com a norma, pois somente através desse tipo de atitude se conseguirá manter a confiabilidade do SPT no mercado.

ANEXO B – VALORES DE ATRITOS LATERAIS, fT , ATRAVÉS DE RANZINI (1994)

Os resultados estão separados de acordo com o Campo Experimental e equipamento. A lista dos quadros que contém os valores de fT está apresentada no Quadro 188.

QUADRO 188 - Lista dos quadros que contém os valores de fT

Campo Experimental	Equipamento	Quadro
Feagri - Unicamp - Campinas (SP)	Elétrico	189
	Analógico	190
Universidade Federal de Lavras (MG)	Elétrico	191
	Analógico	192
EESC - USP - São Carlos (SP)	Elétrico	193
	Analógico	194
FET - Unesp - Bauru (SP)	Elétrico	195
	Analógico	196
FEIS - Unesp - Ilha Solteira (SP)	Elétrico	197
	Analógico	198
Escola Politécnica - USP - São Paulo (SP)	Elétrico	199
	Analógico	200
Baixada Santista (SP)	Elétrico e Analógico	201

QUADRO 189 - Valores de $f_{TEm\acute{a}x}$ e f_{TERes} obtidos através do torquímetro elétrico - Unicamp

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	Furo6	$\overline{fT}$	sd	cv
	$f_{TEm\acute{a}x}$ (kPa) f_{TERes} (kPa)								
1	11,1 3,7	8,9 2,9	7,1 0,2	10,6 3,0	16,8 4,7	16,3 3,8	11,82 3,05	3,94 1,52	33,34 49,96
2	5,0 2,2	9,9 3,5	10,9 2,9	15,5 5,2	9,0 4,9	9,9 4,4	10,04 3,84	3,39 1,19	33,80 30,89
3	7,7 2,3	8,7 3,0	10,9 3,1	6,6 2,2	10,9 4,1	9,6 4,9	9,08 3,28	1,73 1,06	19,02 32,17
4	7,5 3,3	14,5 5,2	18,9 7,3	15,1 7,7	13,8 5,1	10,0 4,9	13,30 5,60	4,00 1,66	30,05 29,54
5	10,8 3,4	11,1 6,9	18,7 9,0	28,6 17,0	15,0 5,5	18,5 6,2	17,11 8,01	6,59 4,76	38,50 59,39
6	11,1 3,1	23,0 12,8	21,5 13,0	23,8 13,7		17,0 6,3	19,26 9,78	5,27 4,76	27,35 48,74
7	16,9 6,5	23,3 15,0	27,6 10,2	28,3 16,6		31,7 10,9	25,53 11,85	5,69 4,03	22,27 33,99
8	24,5 10,2	35,5 20,3	35,8 22,2	44,2 28,3		32,3 17,7	34,47 19,74	7,12 6,60	20,64 33,46
9	29,5 17,4	31,7 24,6	48,3 24,9	32,7 23,9		52,3 34,9	38,91 25,14	10,60 6,28	27,25 24,97
10	54,9 34,1	41,6 29,0	44,1 24,8	50,2 36,5		72,2 53,9	52,62 35,65	12,14 11,17	23,07 31,34
11	54,9 34,2	50,0 31,9	44,4 32,4	53,1 37,5		85,9 56,1	57,68 38,43	16,29 10,13	28,24 26,36
12	55,6 34,1	63,5 41,5	43,3 28,1	50,7 34,1		63,8 50,4	55,37 37,65	8,75 8,59	15,80 22,82
13		49,9 36,3	47,0 32,5	64,3 41,3		73,7 51,1	58,71 40,27	12,55 8,06	21,38 20,02
14		53,9 39,0	69,6 46,2	53,3 38,1		97,6 67,8	68,62 47,77	20,75 13,84	30,24 28,97
15	56,2 37,8	62,7 44,8	92,3 69,2	57,7 36,5		100,9 62,3	73,97 50,12	21,05 14,81	28,45 29,55
16		70,9 58,4	102,0 72,4	83,4 58,3			85,44 63,02	15,64 8,11	18,31 12,87
17		96,1 74,1	132,3 95,0	113,8 71,5			114,06 80,21	18,09 12,89	15,86 16,07
18	143,6 107,5		123,8 91,6				133,73 99,53	14,03 11,23	10,49 11,28
19	152,9 134,5	161,6 113,7	108,2 73,4				140,88 107,21	28,66 31,07	20,35 28,98
20		211,5 176,7							
21									
22		133,2 96,8							
23		131,9 93,3							
24									
25		134,0 90,9							
26		138,0 106,7							
27		138,3 98,7							

QUADRO 190 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - Unicamp

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	Furo6	$\overline{fT}$	sd	cv
	$fT_{m\acute{a}x}$ (kPa) fT_{res} (kPa)								
1	9,8 4,9	8,5 0,,0	8,0 2,0	9,8 4,9	12,2 4,9	14,7 4,9	10,48 3,59	2,52 2,10	24,01 58,57
2	3,7 0,0	12,2 4,1	9,8 2,4	14,7 7,3	6,7 4,5	8,2 4,1	9,21 3,73	3,92 2,42	42,64 64,93
3	4,9 0,0	8,5 2,1	13,5 4,5	4,9 2,4	10,8 4,3	7,2 2,4	8,28 2,62	3,40 1,65	41,02 62,79
4	4,9 0,0	19,6 4,9	19,6 9,8	16,7 12,0	11,4 4,6	7,3 4,9	13,25 6,02	6,32 4,25	47,71 70,63
5	7,3 0,0	17,6 4,4	17,6 14,7	29,3 19,6	14,0 7,0	19,6 9,8	17,57 9,24	7,20 7,07	41,00 76,49
6	8,8 2,2	19,6 7,3	19,1 14,7	19,1 14,7		19,1 9,6	17,14 9,69	4,67 5,27	27,22 54,41
7	13,7 4,9	17,6 9,8	29,3 19,6	29,3 19,6		28,7 14,7	23,73 13,69	7,50 6,37	31,58 46,57
8	18,3 9,8	28,1 19,6	33,5 23,9	39,1 31,8		32,7 18,7	30,34 20,74	7,78 8,02	25,63 38,67
9	27,5 18,3	28,1 23,4	58,7 29,3	31,8 26,9		48,9 34,2	38,97 26,42	14,03 6,00	36,00 22,72
10	48,9 34,2	39,1 29,3	48,9 26,9	57,4 38,3		67,0 57,4	52,24 37,21	10,47 12,10	20,04 32,52
11	52,6 33,5	43,0 28,7	44,0 31,8	53,8 41,5		81,3 62,1	54,93 39,52	15,52 13,50	28,25 34,15
12	51,5 32,7	58,7 39,1	38,3 28,7	47,8 38,3		68,4 48,9	52,92 37,54	11,36 7,63	21,47 20,32
13	48,9 36,7	47,8 35,9	47,8 33,5	68,4 39,1		71,7 52,6	56,92 39,54	12,06 7,57	21,19 19,13
14	40,0 27,5	48,9 31,8	71,7 50,2	51,5 42,1		97,8 58,7	61,96 42,04	23,13 12,85	37,34 30,56
15	48,9 34,2	63,5 44,0	92,9 78,2	58,7 39,1		97,8 53,8	72,34 49,85	21,69 17,42	29,99 34,94
16	88,0 68,4	70,2 51,5	97,8 73,3	83,1 68,4			84,75 65,41	11,47 9,58	13,53 14,64
17	136,9 112,4	105,2 90,9	122,2 97,8	122,2 68,4			121,60 92,36	12,95 18,32	10,65 19,83
18	136,9 127,1	146,6 112,4	119,6 95,7	285,3 267,5			172,08 150,66	76,30 78,94	44,34 52,40
19	156,4 136,9	146,6 92,9	97,8 83,1	471,3 432,0			208,20 196,03	151,40 185,01	72,72 94,38
20	241,4 214,6	291,1 291,1		432,0 392,8			321,49 299,47	98,89 89,40	30,76 29,85
21	253,8 253,8	219,9 195,5					236,86 224,64	23,92 41,20	10,10 18,34
22		114,8 90,9							
23		119,6 86,1							
24		117,3 88,0							
25		124,3 95,7							
26		127,1 97,8							
27		146,6 122,2							

QUADRO 191 - Valores de $fTE_{m\acute{a}x}$ e fTE_{res} obtidos através do torquímetro elétrico - UFLA

Profundidade (m)	Furo1		Furo2		média	
	$fTE_{m\acute{a}x}$	fTE_{res}	$fTE_{m\acute{a}x}$	fTE_{res}	$\overline{fTE}_{m\acute{a}x}$	$\overline{fTE}_{res}$
1	31,6	7,4	14,5	4,2	23,02	5,81
2	38,5	10,1	41,5	13,9	39,99	11,99
3	25,6	1,2	39,3	13,2	32,43	7,23
4	30,4	15,9	31,8	14,6	31,12	15,26
5	48,3	25,2	42,1	22,5	45,20	23,81
6	22,9	10,6	31,6	17,6	27,24	14,10
7	52,9	32,3	65,9	43,8	59,43	38,08
8	41,9	20,6	85,7	53,1	63,81	36,84
9	55,4	26,3	40,4	21,3	47,88	23,84
10	68,9	37,1	93,0	52,4	80,91	44,77
11	66,8	40,5	72,8	40,0	69,80	40,25
12	65,1	41,6	46,8	28,2	55,95	34,87
13	52,2	23,1	52,6	29,0	52,38	26,05
14	77,0	48,7	80,8	44,9	78,90	46,80
15	30,4	17,9	56,7	27,6	43,57	22,74
16	60,2	35,5	60,0	32,1	60,08	33,77
17	59,5	46,3	57,4	-	58,45	-

QUADRO 192 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - UFLA

Profundidade (m)	Furo1		Furo2		média	
	$fT_{m\acute{a}x}$	fT_{res}	$fT_{m\acute{a}x}$	fT_{res}	$\overline{fT}_{m\acute{a}x}$	$\overline{fT}_{res}$
1	22,9	4,6	6,3	4,2	14,63	4,41
2	39,1	9,8	40,4	13,5	39,75	11,62
3	19,6	12,2	39,1	14,7	29,33	13,44
4	24,4	17,1	28,7	16,7	26,56	16,92
5	34,2	24,4	32,1	22,9	33,14	23,67
6	22,0	11,0	29,8	18,3	25,89	14,66
7	57,4	35,9	62,2	28,7	59,77	32,27
8	43,0	23,9	88,9	51,5	65,97	37,69
9	46,8	28,1	33,5	21,5	40,13	24,80
10	71,7	40,6	92,9	53,8	82,29	47,20
11	71,7	47,8	73,3	43,5	72,52	45,67
12	66,9	43,0	53,9	31,4	60,40	37,23
13	47,8	26,3	51,5	28,1	49,65	27,19
14	78,2	53,8	79,6	46,8	78,88	50,28
15	31,4	24,7	53,8	34,2	42,59	29,45
16	58,7	36,7	65,5	35,1	62,08	35,88
17	62,2	55,0	56,2	48,9	59,18	51,93

QUADRO 193 - Valores de $fT_{Em\acute{a}x}$ e fT_{Eres} obtidos através do torquímetro elétrico - EESC - USP

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	$\overline{fT}$	sd	cv
	$fT_{Em\acute{a}x}$ (kPa)							
	fT_{Eres} (kPa)							
1	16,1 6,4	12,9 3,0	7,9 3,3	15,2 3,0	11,0 1,3	12,64 3,39	3,31 1,83	26,20 53,92
2	17,7 6,0	18,5 10,4	15,2 6,6	28,4 8,6	7,6 2,2	17,48 6,75	7,50 3,05	42,89 45,14
3	27,5 17,5	18,5 13,9	19,3 10,9	14,9 10,1	13,9 4,4	18,82 11,36	5,37 4,88	28,56 42,94
4	40,1 24,9	21,9 11,1	20,7 11,0	20,8 13,2	21,2 9,4	24,96 13,95	8,49 6,28	34,04 45,02
5	31,4 14,9	16,4 11,8	16,8 8,8	19,5 14,5	21,7 9,7	21,14 11,95	6,11 2,73	28,91 22,87
6	19,1 7,0	19,9 9,7	14,8 9,9	25,1 10,6	20,1 11,1	19,79 9,67	3,69 1,60	18,63 16,58
7	17,5 14,0	20,9 17,4	16,8 13,6	22,6 18,2	17,4 12,9	19,07 15,23	2,56 2,41	13,40 15,82
8	19,6 13,9	30,6 21,9	27,8 21,2	30,2 21,6	36,9 24,0	29,03 20,54	6,25 3,85	21,54 18,77
9	35,1 20,6	40,5 23,7	46,6 30,5	30,5 20,8	35,4 23,0	37,65 23,73	6,13 4,03	16,29 17,00
10	31,0 19,0	39,1 23,2	56,6 33,2	46,0 30,5	59,0 37,5	46,33 28,68	11,76 7,52	25,38 26,23
11	46,3 30,2	43,2 27,8	68,6 40,5		65,6 45,6	55,91 36,01	13,04 8,43	23,33 23,42
12	71,5 -	69,9 50,2	55,5 39,0		72,8 51,8	67,43 46,99	8,02 7,00	11,89 14,90
13	59,5 38,9	39,9 27,0	83,7 56,2		38,4 32,1	55,38 38,55	21,22 12,73	38,31 33,02
14	103,1 70,1	99,2 62,6	118,3 85,4		98,3 71,3	104,75 72,36	9,29 9,50	8,87 13,13
15		90,2 65,3	105,6 71,5		116,3 74,2	104,04 70,33	13,15 4,58	12,64 6,51
16	170,3 114,6				109,1 74,5			
17	78,8 50,7				153,8 93,9			
18	121,8 89,8							
19					139,2 73,2			
20					131,8 69,3			
21					147,6 89,4			
22					96,4 40,7			
23					57,0 40,7			
24					196,6 158,9			
25					320,0 239,1			

QUADRO 194 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - EESC - USP

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	$\overline{fT}$	sd	cv
	$fT_{m\acute{a}x}$ (kPa)							
	fT_{res} (kPa)							
1	13,7 6,9	14,0 4,7	6,6 4,4	14,7 7,3	11,4 4,6	12,09 5,58	3,30 1,41	27,32 25,25
2	17,4 9,6	17,7 13,7	12,0 10,0	18,7 9,3	21,2 10,6	17,38 10,66	3,37 1,78	19,39 16,72
3	27,0 19,3	18,0 16,0	19,6 13,7	15,1 10,8	11,2 4,5	17,34 13,72	6,70 5,55	38,64 40,45
4	37,4 23,4	19,6 17,1	16,9 14,8	20,4 16,3	21,1 9,3	23,07 16,19	8,19 5,05	35,48 31,18
5	30,8 17,6	14,3 12,0	16,3 12,2	19,0 16,9	21,2 10,6	20,31 13,85	6,41 3,18	31,56 22,95
6	16,1 8,1	19,0 10,6	15,7 13,5	20,6 10,2	21,5 12,0	18,57 10,85	2,61 2,03	14,08 18,74
7	18,7 14,5	18,3 18,3	6,6 4,4	20,6 18,3	17,3 13,0	16,30 13,70	5,56 5,71	34,10 41,69
8	20,0 16,0	27,5 20,6	26,4 22,0	28,7 21,5	35,1 23,4	27,54 20,70	5,40 2,83	19,61 13,65
9	39,1 22,0	41,3 22,9	39,1 26,9	29,3 24,4	34,4 22,9	36,63 23,83	4,80 1,92	13,10 8,04
10	28,7 16,7	38,3 21,5	53,8 31,8	47,8 33,5	44,0 31,8	42,50 42,50	9,56 7,47	22,50 27,63
11	51,5 32,7	40,7 23,9	67,0 43,0		58,7 44,0	54,44 35,91	11,15 9,49	20,49 26,41
12	67,0 47,8	67,0 47,8	52,6 35,9		67,0 50,2	63,37 45,42	7,18 6,46	11,34 14,23
13	53,8 39,1	38,3 26,3	83,1 58,7		37,4 32,7	53,14 39,20	21,33 13,98	40,14 35,67
14	98,3 70,2	102,6 68,4	102,6 85,5		88,0 70,9	97,89 73,75	6,92 7,92	7,07 10,74
15	102,6 83,1	88,0 70,9	92,9 70,9		88,0 70,9	92,87 73,93	6,91 6,11	7,44 8,26
16	146,6 102,6				112,4 78,2	129,52 90,42	24,19 17,28	18,68 19,11
17	68,4 48,9				167,4 114,8	117,89 81,82	69,95 46,59	59,34 56,94
18	122,2 97,8							
19					131,0 65,5			
20					122,2 68,4			
21					139,3 83,1			
22					90,9 40,7			
23					47,8 31,1			

QUADRO 195 - Valores de $fTEmáx$ e $fTEres$ obtidos através do torquímetro elétrico - FET - Unesp - Bauru

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	$f\bar{T}$	sd	cv (%)
	$fTEmáx$ (kPa) $fTEres$ (kPa)					
0,5	26,2 1,3	22,8 4,4	24,5 1,8	24,52 2,49	1,71 1,67	6,98 67,10
1	4,6 1,6		7,3 1,3	5,94 1,44	1,90 0,17	32,01 11,98
2	3,5 0,8	5,3 1,4	10,7 1,0	6,50 1,04	3,76 0,30	57,79 28,64
3	7,7 2,2	11,2 3,2	9,3 1,5	9,40 2,30	1,79 0,84	19,01 36,36
4	8,4 8,4	10,1 3,1	10,8 2,9	9,74 3,01	1,25 0,11	12,87 3,74
5	7,8 2,4	10,8 3,9	8,6 0,2	9,06 2,17	1,52 1,85	16,76 85,31
6	13,3 3,0	12,5 5,2	12,3 2,6	12,68 3,60	0,54 1,42	4,30 39,56
7	10,6 3,0	13,7 3,6	11,9 3,2	12,07 3,29	1,54 0,30	12,80 9,07
8	17,9 3,1	25,9 4,6	14,3 4,2	19,36 3,98	5,91 0,76	30,51 19,10
9	18,7 5,0	10,6 3,3	15,7 3,1	15,01 3,83	4,10 1,05	27,32 27,39
10	17,6 6,7	23,5 8,9	19,3 7,1	20,10 7,59	3,02 1,18	15,04 15,59
11	17,5 5,4	16,9 9,0	20,3 5,7	18,21 6,71	1,82 2,02	9,99 30,17
12	36,9 9,9	20,8 5,7	31,7 13,4	29,78 9,66	8,23 3,89	27,63 40,26
13			147,9 104,3			
14		102,6 75,5	118,6			
15		118,9	122,1 92,2			
16		120,9				
17		142,8				
18		179,0 130,0				
19		224,1 164,0				
20		181,7 119,9				

QUADRO 196 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - FET - Unesp - Bauru

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	$\overline{fT}$	sd	cv (%)
	$fT_{m\acute{a}x}$ (kPa) fT_{res} (kPa)					
0,5	12,2 2,4	24,4 9,8	19,1 4,8	18,59 5,67	6,13 3,74	32,96 66,04
1	4,4 2,2	3,2 1,6	3,7 1,9	3,78 1,91	0,59 0,29	15,59 15,38
2	2,0 0,0	3,4 1,7	6,9 4,6	4,09 2,10	2,52 2,32	61,66 110,48
3	4,9 2,4	9,8 4,9	8,5 4,3	7,71 3,86	2,53 1,27	32,81 32,84
4	7,3 4,9	9,6 5,7	8,6 4,3	8,52 4,97	1,15 0,71	13,51 14,33
5	7,0 4,7	9,8 4,9	9,3 4,7	8,72 4,76	1,47 0,11	16,86 2,37
6	14,7 4,9	11,4 6,9	12,2 4,9	12,77 5,56	1,68 1,16	13,17 20,83
7	9,3 4,7	12,0 4,8	11,7 7,0	11,00 5,51	1,45 1,33	13,15 24,10
8	16,0 4,6	23,4 7,0	12,2 4,9	17,22 5,51	5,69 1,33	33,04 24,23
9	19,6 7,3	4,4 2,2	14,7 4,9	12,87 4,81	7,73 2,57	60,08 53,41
10	16,4 9,3	22,0 9,8	19,6 9,8	19,31 9,63	2,82 0,25	14,60 2,64
11	19,6 9,8	17,1 9,8	19,6 9,8	18,74 9,78	1,41 0,00	7,53 0,0
12	31,1 9,6	19,6 9,8	28,7 16,7	26,44 12,02	6,09 4,06	23,02 33,81
13		53,8	146,6 112,4	100,20 112,42	65,67	65,54
14		105,2 74,1	117,3 58,7	111,24 66,37	8,57 10,92	7,70 16,45
15		117,3 22,0	122,2 78,2	119,75 50,10	3,46 39,74	2,89 79,33
16		122,2 56,2		122,19 56,21		
17		141,7 66,0		141,74 65,98		
18		156,4 122,2		156,40 122,19		
19		205,3 151,5		205,28 151,52		
20		176,0 102,6		175,96 102,64		

QUADRO 197 - Valores de $fT_{Em\acute{a}x}$ e fT_{Eres} obtidos através do torquímetro elétrico - FEIS - Unesp - Ilha Solteira

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	$\overline{fT}$	sd	cv (%)
	$fT_{Em\acute{a}x}$ (kPa) fT_{Eres} (kPa)						
1	7,2 0,8	12,3 2,3	26,4 3,0	47,0 7,0	23,22 3,29	17,81 2,63	76,71 80,08
2	14,5 3,2	7,9	7,7 2,1	8,1 1,0	9,56 2,09	3,31 1,08	34,65 51,58
3	8,7	11,8	14,7 6,1	10,6 3,8	11,42 4,94	2,54 1,66	22,24 33,61
4	17,4 3,0	11,3 5,3	11,4 2,7	6,4	11,62 3,67	4,50 1,45	38,74 39,46
5	18,8 4,2	20,4 8,5	14,7 5,1	14,5 0,9	17,07 4,67	2,97 3,14	17,38 67,24
6	14,8 3,2	14,1 5,8	15,7 5,9	16,7 5,4	15,32 5,06	1,14 1,27	7,43 25,20
7	12,6 2,7	22,5 6,3	24,9 4,0	24,8 5,8	21,20 4,70	5,86 1,64	27,65 34,82
8	17,8 10,6	23,5 14,0	27,6 6,8	20,0	22,21 10,49	4,26 3,59	19,19 34,25
9	27,7 12,1	39,9 14,0	42,2 17,1	34,7 5,8	36,13 12,22	6,43 4,77	17,79 39,01
10	30,9 12,7	23,5 12,7	26,6 9,8	30,0 12,4	27,76 11,90	3,38 1,39	12,18 11,69
11	25,9 4,6	51,2 9,5	40,0 27,5	41,0 10,5	39,50 13,04	10,42 9,98	26,39 76,58
12	41,2 28,9	27,1 16,4	33,5 15,1	28,1 28,1	32,44 19,26	6,45 6,49	19,90 33,68
13	35,9 14,6	55,8 23,5	42,1 22,7		44,62 20,23	10,18 4,93	22,81 24,34
14	26,0 15,4	30,8 20,8	17,4		24,73 18,11	6,83 3,84	27,63 21,18
15	45,6 12,2	88,1 41,6	50,5 10,7		61,41 21,49	23,27 17,47	37,90 81,30
16		43,7 30,3	36,8 20,9				

QUADRO 198 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - FEIS - Unesp - Ilha Solteira

Profundidade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	$\overline{fT}$	sd	cv (%)
	$fT_{m\acute{a}x}$ (kPa)				fT_{res} (kPa)		
1	4,6 2,3	9,2 4,6	27,5 6,9	58,7 14,7	24,99 7,11	24,53 5,37	98,17 75,54
2	8,8 4,4	4,8 4,8	6,9 4,6	6,6 4,4	6,77 4,55	1,64 0,19	24,24 4,12
3	4,9 4,9	9,8 4,9	16,9 10,6	12,2 4,9	10,95 6,31	5,01 2,83	45,75 44,96
4	15,4 4,4	12,2 7,3	12,2 4,9	4,6 4,6	11,11 5,30	4,59 1,37	41,35 25,78
5	16,0 9,2	21,1 14,0	14,7 9,8	19,6 9,8	17,83 10,69	2,98 2,24	16,73 20,96
6	13,5 4,5	16,0 6,9	18,3 9,2	14,7 7,3	13,34 9,26	2,96 6,17	22,17 66,63
7	10,4 4,2	23,9 9,6	25,2 9,2	24,4 9,8	20,98 8,17	7,10 2,69	33,84 32,92
8	19,1 12,0	23,9 14,3	29,3 14,7	19,6 9,8	22,97 12,68	4,76 2,28	20,70 17,96
9	24,4 14,7	42,1 19,2	41,5 19,6	39,1 14,7	36,80 17,02	8,35 2,73	22,68 16,02
10	29,3 14,7	24,4 12,2	28,7 14,3	31,1 14,3	28,38 13,88	2,82 1,12	9,93 8,07
11	19,6 7,3	48,9 17,1	41,5 29,3	44,0 22,0	38,49 18,94	12,99 9,23	33,75 48,71
12	39,1 31,8	24,4 14,7	31,8 19,6	29,3 22,0	31,16 21,99	6,11 7,19	19,61 32,71
13	31,8 17,1	58,7 26,9	40,7 23,9		43,70 22,63	13,69 5,01	31,34 22,14
14	28,7 14,3	29,3 29,3	19,6 9,8		25,86 17,81	5,47 10,23	21,15 57,45
15	44,0 14,7	88,0 44,0	53,8 19,6		61,91 26,07	23,10 15,71	37,31 60,27
16		27,9 22,0	36,7 24,4				

QUADRO 199 - Valores de $fT_{em\acute{a}x}$ e fT_{eres} obtidos através do torquímetro elétrico - Politécnica/ABEF – USP – São Paulo

Profundi- dade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	Furo6	$\overline{fT}$	sd	cv
	$fT_{em\acute{a}x}$ (kPa) fT_{eres} (kPa)								
1	55,5 16,3	175,1 117,7	145,0 100,6	56,6 31,5	64,0 39,2	43,2 26,3	89,89 55,26	55,58 42,73	61,82 100,57
2	80,8 43,0	169,1 134,2	266,1 164,1	117,5 63,4	89,5 52,9	68,5 41,5	131,89 83,17	74,87 52,54	56,77 90,02
3		182,1 144,2	239,9 180,7	180,7 154,4	125,1 82,3	91,8 77,3	163,93 127,78	57,21 45,83	34,90 44,77
4	233,4 171,1	161,1 120,9	124,1 98,3	230,6 185,6	156,6 131,9	137,6 110,8	173,90 136,42	46,91 34,63	26,98 34,39
5		163,2 127,9	207,8 149,8	152,4 116,6	171,4 142,8	165,9 135,0	172,16 134,42	21,07 12,90	12,24 15,67
6	278,4 192,0	197,0 147,4	163,8 127,6	244,9 212,5	122,4 100,2		201,31 155,95	62,23 46,03	30,91 39,90
7	242,0 153,7	159,8	208,2 137,5	226,7 184,8	293,9 247,0	170,6 147,4	216,87 174,07	49,28 44,45	22,72 28,31
8	298,6	111,2 80,4	301,5 223,4	263,1 240,3	315,0 265,7	174,0 141,5	243,90 190,29	82,74 77,05	33,93 43,48
9		65,2 50,8	307,4 246,0	232,3 212,3	263,1 238,0	192,1 149,1	212,03 179,25	92,30 81,28	43,53 51,49
10		65,2 53,3	327,8 298,2		255,0 221,7	208,2 169,6	214,05 185,69	110,76 102,88	51,74 59,64
11					277,0 237,3				

QUADRO 200 - Valores de $fT_{m\acute{a}x}$ e fT_{res} obtidos através do torquímetro analógico - Politécnica/ABEF – USP – São Paulo

Profundi- dade (m)	Furo1	Furo2	Furo3	Furo4	Furo5	Furo6	$\overline{fT}$	sd	cv
	$fT_{m\acute{a}x}$ (kPa) fT_{res} (kPa)								
1	61,1 22,0	171,1 107,5	146,6 102,6	53,8 34,2	56,2 32,7	37,4 18,7	87,69 52,97	56,22 40,83	64,11 106,13
2	83,1 48,9	166,2 132,0	254,2 166,2	117,3 73,3	83,1 48,9	67,0 38,3	128,46 84,58	71,06 52,39	55,31 84,01
3		185,7 151,5	234,6 185,7	185,7 156,4	95,7 81,3	83,1 73,3	156,96 129,65	65,00 49,63	41,41 50,14
4	205,3 176,0	146,6 122,2	117,3 97,8	234,6 185,7	136,9 117,3	132,0 117,3	162,11 136,40	46,72 35,84	28,82 34,34
5		146,6 127,1	205,3 156,4	146,6 117,3	156,4 141,7	156,4 136,9	162,27 135,88	24,54 14,82	15,12 18,06
6	273,7 185,7	185,7 146,6	146,6 117,3	254,2 224,8	122,2 97,8	146,6 92,9	188,17 144,19	62,42 52,44	33,17 43,29
7	234,6 156,4	102,6 146,6	205,3 136,9	234,6 195,5	303,0 254,2	180,8 156,4	210,17 174,33	66,73 43,90	31,75 38,28
8	293,3 205,3	122,2 78,2	303,0 234,6	273,7 254,2	332,4 273,7	156,4 146,6	246,83 198,76	86,10 73,84	34,88 43,32
9		58,7 48,9	315,8 248,1	234,6 215,1	283,5 244,4	185,7 146,6	215,66 180,62	100,68 84,15	46,68 55,74
10		68,4 53,8	322,6 322,6		234,6 224,8	215,1 166,2	210,17 191,84	105,43 112,41	50,17 54,96
11					283,5 244,4		283,48 244,35		

QUADRO 201 - Valores de fT obtidos através dos torquímetro elétrico e analógico - Baixada Santista (SP)

Prof. (m)	Torquímetro Elétrico		Torquímetro Analógico	
	$fT_{\text{máx}}$	fT_{res}	$fT_{\text{máx}}$	fT_{res}
1			7,3	5,4
2	9,6	2,8	7,3	3,4
3	10,4	2,0	9,3	4,9
4	11,5	3,8	12,7	5,4
5	13,7	4,5	13,7	6,8
6	13,9	3,5	12,7	4,9
7	15,8	3,0	16,1	7,3
8	15,0	3,6	16,6	6,8
9	17,7	6,8	24,4	7,3
10	17,0	6,9	20,0	7,3
11	14,4	5,7	16,1	7,8
12	22,9	9,5	26,9	12,2
13	22,2	5,3	24,4	12,2
14	17,9	9,3	18,0	7,8
15	23,1	8,9	26,4	11,2
16	23,3	8,9	26,9	9,8
17	29,0	11,1	27,9	18,6
18	19,8	10,8	21,0	10,3
19	21,9	8,9	21,5	9,8
20	22,8	10,2	23,9	15,2

ANEXO C – COEFICIENTES-DE-VARIAÇÃO PARA OS PARÂMETROS OBTIDOS NOS ENSAIOS SPT-T E CPT

Neste anexo estão apresentados os coeficientes-de-variação, em função da profundidade, para os seguintes parâmetros:

- Índice de resistência medido no ensaio *SPT-T*, N ;
- Torques máximo e residual medidos através de torquímetro elétrico no ensaio *SPT-T*, $TE_{máx}$ e TE_{res} ;
- Adesão-atrito amostrador-solo proposta por Ranzini (1994), obtida através do ensaio *SPT-T*, $fTE_{máx}$;
- Resistência de ponta medida no *CPT*, qc ;
- Atrito lateral medido no *CPT*, fs ;

Os resultados estão divididos em função do Campo Experimental.

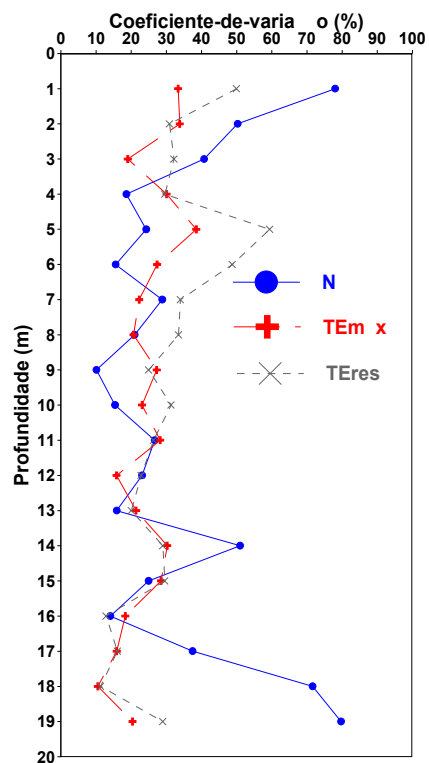
Para cada Campo Experimental estão apresentadas três figuras com os seguintes resultados:

- Coeficientes-de-variação, em função da profundidade, para os índices de resistência, N , torques máximos, $TE_{máx}$, e torques residuais, TE_{res} ;
- Coeficientes-de-variação, em função da profundidade, para os atritos laterais medidos no ensaio CPT , f_s , e adesão solo-amostrador proposta por Ranzini (1994), obtida através do ensaio $SPT-T$, $fTE_{máx}$;
- Coeficientes-de-variação, em função da profundidade, para as resistências de ponta medidas no ensaio CPT , q_c , e índices de resistência medidos no ensaio $SPT-T$, N .

O Campo Experimental da Universidade Federal de Lavras e o local da Baixada Santista não foram considerados nesta análise porque não possuem quantidade suficiente de ensaios para a análise.

C.1 – CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA UNICAMP – CAMPINAS (SP)

Na Figura 208 estão apresentados três gráficos com os coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios $SPT-T$ e CPT .



c.v. para N , $TEm_{\text{máx}}$ e TER_{es}

c.v. para índice de Resistência, N

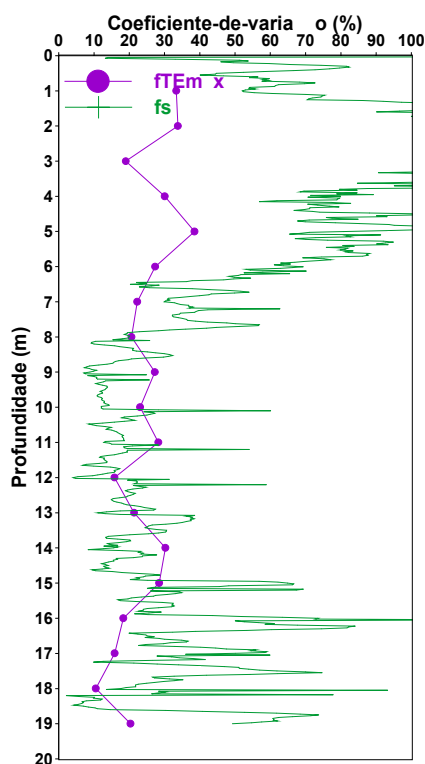
c.v. para Torque Residual, TER_{es}

c.v. para Torque Máximo, $TEm_{\text{máx}}$

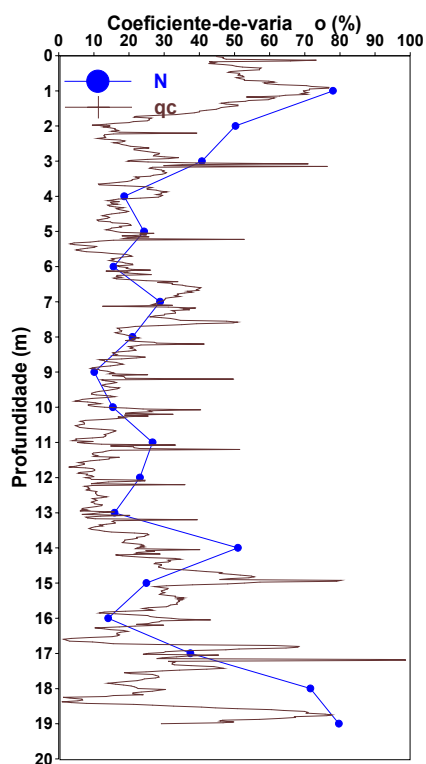
c.v. para Adesão Solo-amostrador, $fTEm_{\text{máx}}$

c.v. para Atrito Lateral, fs

c.v. para Resistência de Ponta, qc



c.v. para fs e $fTEm_{\text{máx}}$

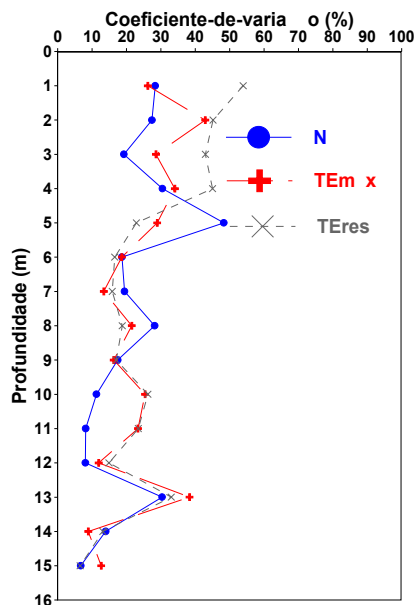


c.v. para qc e N

FIGURA 208 - Coeficientes-de-varição para os parâmetros obtidos através dos ensaios CPT e SPT-T – Feagri – Unicamp

C.2 – CAMPO EXPERIMENTAL DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – USP (SP)

Na Figura 209 estão apresentados três gráficos com os coeficientes-de-
variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios *SPT-T* e *CPT*.



c.v. para Índice de Resistência, *N*

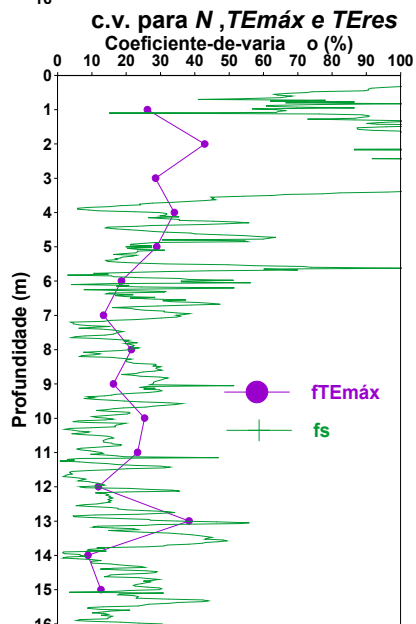
c.v. para Torque Residual, *TEres*

c.v. para Torque Médio, *TEm x*

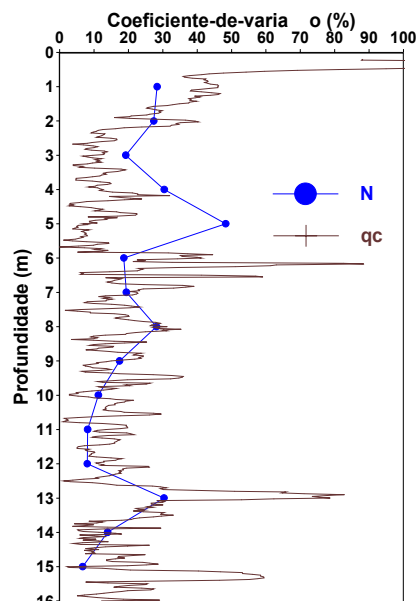
c.v. para Adesão Solo-amostrador, *fTEm x*

c.v. para Atrito Lateral, *fs*

c.v. para Resistência de Ponta, *qc*



c.v. para *fs* e *fTEmáx*

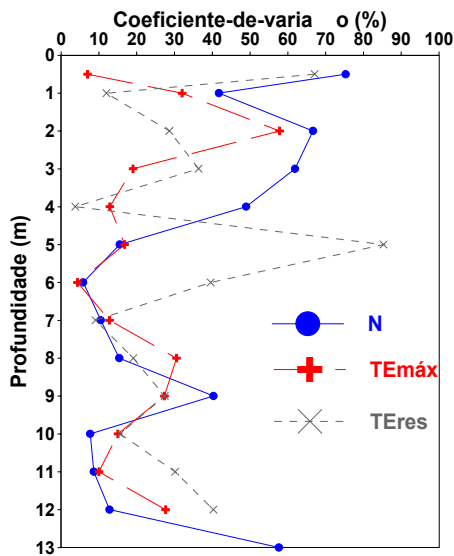


c.v. para *qc* e *N*

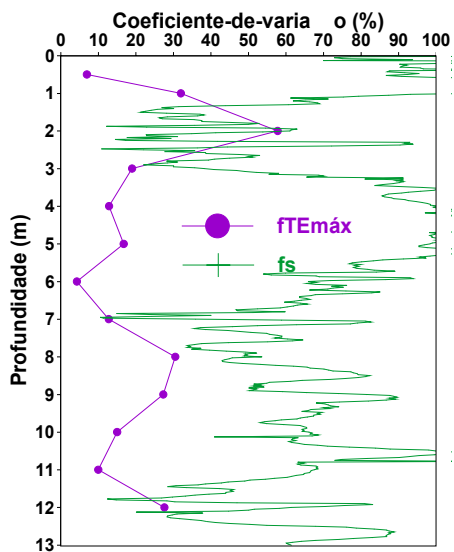
**FIGURA 209 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos
ensaios *SPT-T* – EESC – USP**

C.3 – CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA – UNESP – BAURU (SP)

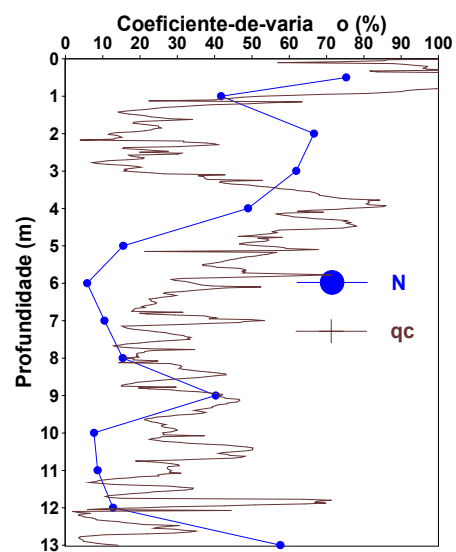
Na Figura 210 estão apresentados três gráficos com os coeficientes-de-
variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios *SPT-T* e *CPT*.



c.v. para N , $T_{Emáx}$ e T_{Eres}



c.v. para f_s e $f_{Temáx}$

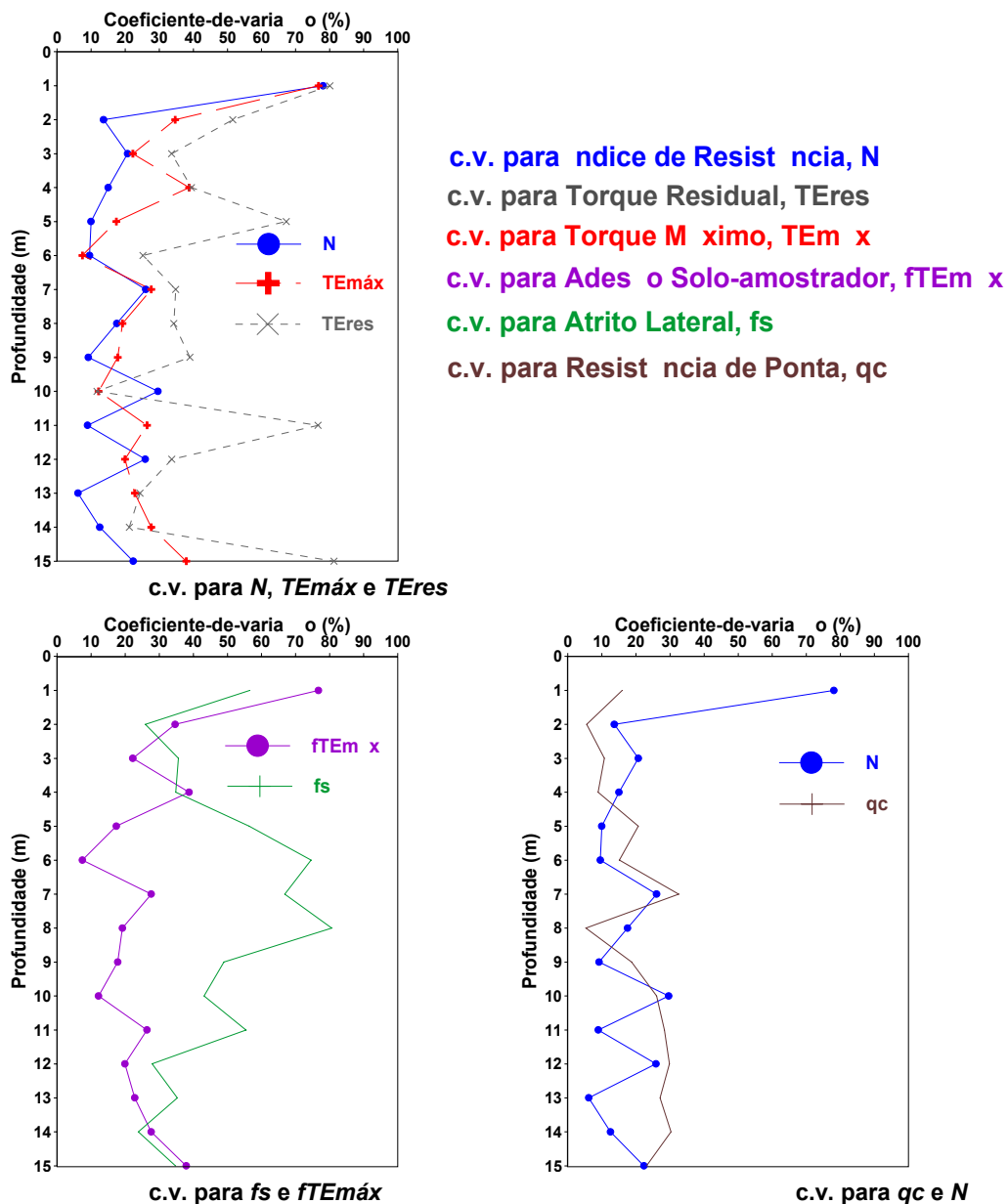


c.v. para q_c e N

**FIGURA 210 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através
dos ensaios SPT-T – Unesp – Bauru (SP)**

C.4 – CAMPO EXPERIMENTAL DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP – ILHA SOLTEIRA (SP)

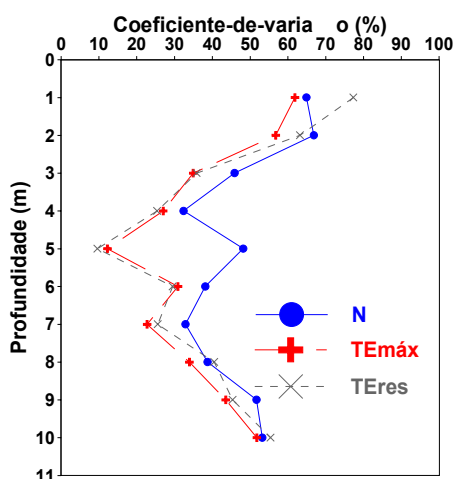
Na Figura 211 estão apresentados três gráficos com os coeficientes-de-
variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios *SPT-T* e *CPT*.



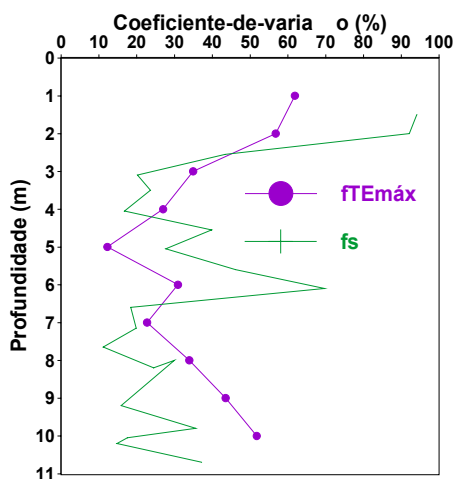
**FIGURA 211 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através
dos ensaios *SPT-T* – Unesp – Ilha Solteira (SP)**

C.5 – CAMPO EXPERIMENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA – USP SÃO PAULO (SP)

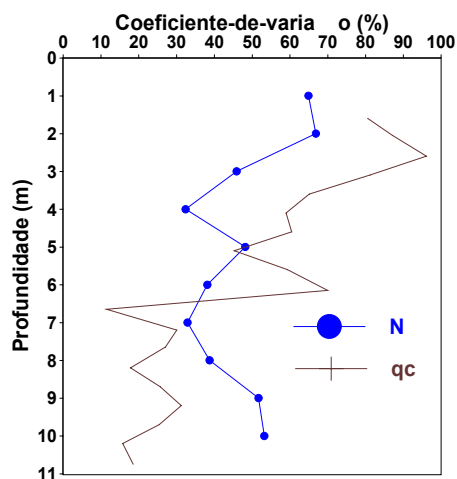
Na Figura 212 estão apresentados três gráficos com os coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios *SPT-T* e *CPT*.



c.v. para *N*, *TEmáx* e *TEres*



c.v. para *fs* e *fTE máx*



c.v. para *qc* e *N*

FIGURA 212 - Coeficientes-de-variação para os parâmetros obtidos através dos ensaios *SPT-T* – Escola Politécnica - USP (SP)

C.6 – COMENTÁRIOS

De uma maneira geral, percebe-se que, para os parâmetros obtidos através do SPT, a variabilidade é maior nos primeiros metros e tende a diminuir com o aumento da profundidade.

Também nota-se que, nos primeiros metros, o TE_{res} possui coeficientes-de-variação maiores do que o $TE_{máx}$. Este fato pode ser um indício de que o TE_{res} é mais suscetível a fatores intervenientes em solos de comportamento laterítico.

A maior variabilidade dos parâmetros obtidos através do CPT não demonstra que este ensaio produz resultados menos confiáveis, mas sim o contrário, os resultados refletem melhor a não homogeneidade do solo.

ANEXO D – COMPARAÇÃO ENTRE A PARCELA DE ATRITO LATERAL OBTIDA ATRAVÉS DE $fT_{máx}$ E fT_{res}

Como já foi mostrado no Capítulo 10, o cálculo da capacidade-de-carga através de Ranzini (2000) necessita de um fator que represente o comportamento do solo quando submetido a introdução de um elemento de fundação.

Assim, neste anexo estão apresentados os cálculos das estimativas das cargas de ruptura utilizando-se a metodologia de Ranzini (2000), acrescida de um fator multiplicador relacionado ao comportamento do solo, representado pela relação T/N , e do tipo de estaca, eq. 59:

$$PR = F_{\lambda} * s_{\lambda} * A_{\lambda} * f_{\lambda} + F_p * s_p * A_p * f_p \quad (59)$$

em que: F_{λ} e F_p : fator multiplicador que depende do tipo de estaca e da relação T/N ;

s_{λ} e s_p : coeficiente empírico em função do tipo de estaca;

A_{λ} : área da superfície lateral da estaca em contato com o solo, m^2 ;

$f\lambda$: tensão de atrito lateral, kPa;

A_p : área da seção transversal na ponta da estaca, m²;

F_p : tensão na ponta da estaca. KPa.

Foram obtidos dois valores de previsão para a carga de ruptura uma vez que a parcela de atrito lateral foi calculada de maneiras diferentes: a primeira em função do torque residual, como sugerido por Ranzini (2000), multiplicada por um fator que depende da relação TE_{res}/N e do tipo de estaca; a segunda em função do torque máximo multiplicada por um fator que é dependente de $TE_{máx}/N$ e do tipo de estaca.

Para a parcela de ponta foi utilizado o valor do torque máximo, como sugerido por Ranzini (2000), nos dois casos, com o fator multiplicador, F_p , em função da mesma relação T/N do cálculo da respectiva parcela de atrito lateral.

D.1 – CAPACIDADE-DE-CARGA COM O CÁLCULO DA PARCELA DE ATRITO LATERAL EM FUNÇÃO DE TE_{res}

Neste item, para os cálculos da carga de ruptura das estacas analisadas, foi utilizada a metodologia de Ranzini (2000) com fatores multiplicadores nas parcelas atrito lateral e de ponta, $F\lambda$ e F_p , em função da relação TE_{res}/N .

Desta maneira, tanto os coeficientes empíricos, $s\lambda$ e sp , obtidos através da comparação com os resultados das provas-de-carga instrumentadas, estão apresentados no Quadro 202, e os fatores multiplicadores, $F\lambda$ e F_p , obtidos em função do tipo de estaca e da relação TE_{res}/N , estão apresentados no Quadro 203.

QUADRO 202 - Coeficientes empíricos $s\lambda$ e sp obtidos para Ranzini (2000)

Estaca	Valores Sugeridos	
	$s\lambda$	sp
Pré-moldada	2,0	60,0
Escavada	2,0	12,0
Hélice-contínua	3,0	9,0
Ômega	5,0	30,0
Apiloadada	11,0	22,0
Barrete	1,0	15,0
Raiz	3,0	19,0
Metálica	0,5	30,0
Broca	2,0	12,0
Injetada	3,0	20,0
Franki	2,0	12,0
Strauss	2,0	12,0

QUADRO 203 - Fatores multiplicadores Fp e $F\lambda$ para serem aplicados ao método de Ranzini (2000)

Tipo de Estaca		
Tres/N	$F\lambda$	Fp
Estacas Escavadas; Broca; e Strauss		
Tres/N < 0,5	1,5	1,5
Tres/N > 1,0	0,5	1,0
0,5 < Tres/N < 1,0	1,0	1,5
Apiloadada e Franki		
Tres/N < 0,5	1,0	2,0
Tres/N > 0,5	0,5	1,0
Pré-Moldada; Raiz; Ômega; Injetada; Metálica		
Qualquer Tres/N	1,0	1,0
Hélice-Contínua		
Tres/N < 0,5	1,0	1,0
Tres/N > 1,0	0,2	1,0
0,5 < Tres/N < 1,0	0,5	1,0

Os resultados da aplicação dessa metodologia para as estacas dos seis Campos Experimentais estão apresentados no Quadro 204. A parcela de ponta para as estacas não-instrumentadas foi calculada através de Decourt (1996) e o valor de atrito lateral foi obtido subtraindo-se esse valor da carga de ruptura obtida

na prova-de carga. Para a ponta das estacas Franki foi utilizada a metodologia de Aoki e Velloso (1975).

QUADRO 204 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas através de Ranzini (2000) os fatores multiplicadores

Estaca	Cidade do Campo Experim.	Características		Prova-de-carga			Metodologia					
		ϕ (m)	L (m)	PP (kN)	PL (kN)	PR (kN)	Tres N	Fp*sp	PP _{CAL} PP	F λ *s λ	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR
Pré-moldada	Campinas	0,18	12,5	43	219	262	0,50	60*1,0	2,14	2*1,0	1,14	1,30
	Ilha Solteira	0,17 [□]	12,0	87	143	230	0,27	60*1,0	0,74	2*1,0	0,82	0,79
	São Paulo	0,50 ^(.32)	8,68	916	2284	3200	1,30	60*1,0	0,72	2*1,0	0,55	0,60
Escavada	Campinas	0,45	12,0	14	680	694	0,44	12*1,5	11,1	2*1,5	1,10	1,31
	São Carlos	0,35	9,1	92	292	384	0,88	12*1,5	0,88	2*1,0	0,99	0,96
		0,40	9,1	130	347	477	0,88	12*1,5	0,93	2*1,0	0,95	0,94
		0,50	9,1	230	464	694	0,88	12*1,5	0,83	2*1,0	0,89	0,87
	Ilha Solteira	0,32	10,0	103	467	570	0,24	12*1,5	0,46	2*1,5	0,38	0,40
	São Paulo	0,70	6,59 ⁶	1530	931	2461*	1,32	12*1,0	0,66	2*0,5	2,0	1,17
Hélice-contínua	Campinas	0,40	12,0	62	823	885	0,44	9*1,0	0,99	3*1,0	0,81	0,82
	São Paulo	0,35	6,67 ⁵	191	452	643*	1,31	9*1,0	0,99	3*0,2	1,25	1,17
		0,42 ⁵	7,18 ⁷	282	540	822*	1,31	9*1,0	0,99	3*0,2	1,31	1,20
Ômega	Campinas	0,39	12,0	199	1229	1428	0,44	30*1,0	0,99	5*1,0	0,88	0,90
Broca	Lavras	0,25	4,0	59	78	137*	0,35	12*1,5	0,52	2*1,5	1,09	0,85
		0,20	6,0	29	145	174*	0,44	12*1,5	0,78	2*1,5	1,32	1,23
		0,20	4,0	27	96	123	0,44	12*1,5	0,73	2*1,5	0,71	0,71
		0,15	6,0	16	124	140	0,44	12*1,5	0,79	2*1,5	1,16	1,12
		0,25	6,0	45	142	187	0,44	12*1,5	0,78	2*1,5	1,69	1,47
	São Carlos	0,25	6,0	30	112	142	0,80	12*1,5	0,59	2*1,0	0,76	0,72
Raiz	São Carlos	0,25	15,0	115	935	1050	0,96	19*1,0	1,01	3*1,0	0,75	0,78
Strauss	São Carlos	0,38	9,4	277	376	653	0,88	12*1,5	0,34	2*1,0	0,84	0,64
	São Paulo	0,32	7,3	533	372	905*	1,31	12*1,0	0,57	2*0,5	2,40	1,22
Apiloadada	São Carlos	0,20	6,0	28	166	194	0,80	22*1,0	0,49	11*0,5	1,13	1,04
		0,20	9,0	49	230	279	0,87	22*1,0	0,53	11*0,5	1,61	1,42
	Bauru	0,25	3,5	20	80	100	0,20	22*2,0	1,02	11*1,0	0,71	0,77
		0,25	6,5	88	143	231	0,24	22*2,0	0,35	11*1,0	0,57	0,71
		0,25	9,5	57	233	290	0,20	22*2,0	0,69	11*1,0	1,09	1,00
	Ilha Solteira	0,20	6,0	35	120	150	0,21	22*2,0	0,68	11*1,0	1,32	1,21
Franki	São Paulo	0,40	4,58 ¹	2056	273	2329*	1,28	12*1,0	0,53	2*0,5	2,20	0,73
		0,40	4,61 ⁷	1970	273	2243*	1,28	12*1,0	0,55	2*0,5	2,21	0,76
Barrete	São Paulo	1,65x0,4	7,0	2130	2870	5000	1,31	15*1,0	1,02	1*0,5	0,62	0,79
Injetada	São Paulo	0,127	6,47 ⁸	84	1129	1213*	1,31	20*1,0	0,66	3*1,0	0,83	0,84
Metálica	São Paulo	I 10"	5,36 ⁴	29	241	270	1,29	30	0,99	0,5	1,23	1,20

* Van Der Veen □ seção quadrada

D.2 – CAPACIDADE-DE-CARGA COM O CÁLCULO DA PARCELA DE ATRITO LATERAL EM FUNÇÃO DE $T_{Emáx}$

Os resultados aqui apresentados utilizam a parcela de atrito lateral em função da adesão $fT_{máx}$. Para isso foi necessário o cálculo de novos coeficientes empíricos, s_{λ} , apresentados no quadro 205, e novos fatores multiplicadores, F_{λ} e F_p , em função de $T_{máx}/N$, Quadro 206.

Os resultados da aplicação dessa metodologia para as estacas dos seis Campos Experimentais estão apresentados no Quadro 207. As parcelas de ponta e atrito lateral para as estacas não-instrumentadas foram calculadas da mesma maneira do item anterior.

QUADRO 205 - Coeficientes empíricos s_{λ} e s_p obtidos para a parcela de atrito lateral em função de $fT_{máx}$

Estaca	Valores Sugeridos	
	sl	sp
Pré-moldada	0,8	60,0
Escavada	1,4	12,0
Hélice-contínua	2,0	9,0
Ômega	3,0	30,0
Apiloadada	3,5	22,0
Barrete	0,7	15,0
Raiz	1,5	19,0
Metálica	0,3	30,0
Broca	1,4	12,0
Injetada	2,0	20,0
Franki	0,8	12,0
Strauss	0,8	12,0

QUADRO 206 - Fatores multiplicadores F_p e F_λ para serem aplicados ao método de Ranzini (2000)

Tipo de Estaca		
Tres/N	F_λ	F_p
Estacas Escavadas; Broca; e Strauss		
$T_{\text{máx}}/N < 1$	1,0	1,3
$T_{\text{máx}}/N > 1$	1,5	0,7
Apiloadas e Franki		
$T_{\text{máx}}/N < 1$	1,5	0,7
$T_{\text{máx}}/N > 1$	1,5	0,5
Pré-Moldada; Raiz; Ômega; Injetada; Metálica		
$T_{\text{máx}}/N < 1$	1,3	1,0
$T_{\text{máx}}/N > 1$	0,5	1,0
Hélice-Contínua		
$T_{\text{máx}}/N < 1$	1,0	1,0
$T_{\text{máx}}/N > 1$	1,0	0,2

Comparando-se os resultados do Quadro 204 com os resultados do Quadro 207, nota-se que a relação PL_{CAL}/PL , referente a parcela de atrito lateral, está satisfatória nos dois casos.

Portanto, fez-se necessário um estudo da variação dos resultados para um mesmo tipo de estaca. Para tanto foram calculadas as médias m , desvios-padrões sd e coeficientes-de-variação cv , para os tipos de dados com número de dados igual, ou superior, a três. Os resultados estão apresentados no Quadro 208.

Neste Quadro 208 fica evidenciada a menor variabilidade, no cálculo da parcela de atrito lateral, para os resultados obtidos através do $T_{\text{máx}}$. Para a parcela da ponta, o alto coeficiente-de-variação tanto para a estaca Pré-Moldada, como para a estaca Escavada, é um indicativo de que esse método ainda não está adequado para o cálculo da resistência de ponta.

QUADRO 207 - Resultados das previsões de capacidade-de-carga de estacas através de Ranzini (2000) utilizando-se os coeficientes $s\lambda'$ e sp'

Estaca	Cidade do Campo Experim.	Características		Prova-de-carga			Metodologia					
		ϕ (m)	L (m)	PP (kN)	PL (kN)	PR (kN)	T _{máx} /N	F _p *sp	PP _{CAL} PP	F λ *s λ	PL _{CAL} PL	PR _{CAL} PR
Pré-moldada	Campinas	0,18	12,5	43	219	262	1,03	0,5*60	1,07	0,8*1,0	0,89	1,09
	Ilha Solteira	0,17□	12,0	87	143	230	0,88	1,3*60	0,97	0,8*1,0	1,06	1,02
	São Paulo	0,50 ⁽³²⁾	8,68	916	2284	3200	1,73	0,5*60	0,36	0,8*1,0	0,84	0,70
Escavada	Campinas	0,45	12,0	14	680	694	0,95	12*1,0	7,42	1,4*1,3	1,21	1,33
	São Carlos	0,35	9,1	92	292	384	1,71	12*1,5	0,88	1,4*0,7	0,62	0,83
		0,40	9,1	130	347	477	1,71	12*1,5	0,93	1,4*0,7	0,78	0,82
		0,50	9,1	230	464	694	1,71	12*1,5	0,83	1,4*0,7	0,73	0,76
	Ilha Solteira	0,32	10,0	103	467	570	0,86	12*1,0	0,30	1,4*1,3	0,75	0,67
	São Paulo	0,70	6,59 ⁶	1530	931	2461*	1,80	12*1,5	0,99	1,4*0,7	2,59	1,60
Hélice-contínua	Campinas	0,40	12,0	62	823	885	0,95	9*1,0	0,99	2*1,0	0,97	0,97
	São Paulo	0,35	6,67 ⁵	191	452	643*	1,80	9*1,0	1,00	2*0,2	1,09	1,07
		0,42 ⁵	7,18 ⁷	282	540	822*	1,80	9*1,0	0,99	2*0,2	1,16	1,10
Ômega	Campinas	0,39	12,0	199	1229	1428	0,95	30*1,3	1,27	3*1,0	0,95	1,00
Broca	Lavras	0,25	4,0	59	78	137*	1,22	12*1,5	0,52	1,4*0,7	1,21	0,92
		0,20	6,0	29	145	174*	1,28	12*1,5	0,78	1,4*0,7	0,59	0,83
		0,20	4,0	27	96	123	1,22	12*1,5	0,73	1,4*0,7	0,79	0,78
		0,15	6,0	16	124	140	1,28	12*1,5	0,79	1,4*0,7	0,73	0,74
		0,25	6,0	45	142	187	1,28	12*1,5	0,78	1,4*0,7	1,07	1,00
	São Carlos	0,25	6,0	30	112	142	1,81	12*1,5	0,59	1,4*0,7	0,77	0,73
Raiz	São Carlos	0,25	15,0	115	935	1050	1,71	19*0,5	0,51	1,5*1,0	0,89	0,85
Strauss	São Carlos	0,38	9,4	277	376	653	1,71	12*1,5	0,34	0,8*0,7	0,40	0,38
	São Paulo	0,32	7,3	533	372	905*	1,80	12*1,5	0,60	0,8*0,7	1,63	1,02
Apiloadas	São Carlos	0,20	6,0	28	166	194	1,81	22*1,5	0,74	3,5*0,5	0,74	0,74
		0,20	9,0	49	230	279	1,73	22*1,5	0,80	3,5*0,5	0,90	0,89
	Bauru	0,25	3,5	20	80	100	0,91	22*1,5	0,77	3,5*0,7	0,65	0,67
		0,25	6,5	88	143	231	0,86	22*1,5	0,26	3,5*0,7	0,80	0,59
		0,25	9,5	57	233	290	0,81	22*1,5	0,52	3,5*0,7	0,91	0,84
	Ilha Solteira	0,20	6,0	35	120	150	0,82	22*1,5	0,51	3,5*0,7	1,18	1,06
Franki	São Paulo	0,40	4,58 ¹	2056	273	2329*	1,81	12*1,5	0,80	0,8*0,5	1,21	0,84
		0,40	4,61 ⁷	1970	273	2243*	1,81	12*1,5	0,83	0,8*0,5	1,22	0,88
Barrete	São Paulo	1,65x0,4	7,0	2130	2870	5000	1,80	15*1,0	1,02	0,7*1,0	1,05	1,03
Injetada	São Paulo	0,127	6,47 ⁸	84	1129	1213*	1,80	20*0,5	0,33	2,0*1,0	0,74	0,71
Metálica	São Paulo	I 10"	5,36 ⁴	29	241	270	1,80	30*0,5	0,49	0,3*1,0	0,99	0,94
* Van Der Veen □ seção quadrada												

QUADRO 208 - Coeficientes-de-variação para a relação PP_{CAL}/PP , PL_{CAL}/PL e PR_{CAL}/PR para cada tipo de estaca

Relação	Estacas Pré-Moldadas n = 3					
	<i>TE_{máx}</i>			<i>TE_{res}</i>		
	Média	sd	cv (%)	Média	sd	cv (%)
PP_{CAL}/PP	0,80	0,38	47,5	1,20	0,81	67,5
PL_{CAL}/PL	0,93	0,12	12,9	0,84	0,30	35,7
PR_{CAL}/PR	0,94	0,21	22,3	0,90	0,36	40,0
Relação	Estacas Escavadas n = 6					
	<i>TE_{máx}</i>			<i>TE_{res}</i>		
	Média	sd	cv (%)	Média	sd	cv (%)
PP_{CAL}/PP	1,89	2,72	143,9	2,48	4,23	170,6
PL_{CAL}/PL	1,11	0,75	67,6	1,05	0,53	50,5
PR_{CAL}/PR	1,00	0,37	37,0	0,94	0,31	33,0
Relação	Estacas Hélices-Contínuas n = 3					
	<i>TE_{máx}</i>			<i>TE_{res}</i>		
	Média	sd	cv (%)	Média	sd	cv (%)
PP_{CAL}/PP	0,99	0,006	0,6	0,96	0,05	5,4
PL_{CAL}/PL	1,07	0,096	8,9	1,12	0,27	24,1
PR_{CAL}/PR	1,04	0,068	6,5	1,06	0,21	19,8
Relação	Estacas Brocas n = 6					
	<i>TE_{máx}</i>			<i>TE_{res}</i>		
	Média	sd	cv (%)	Média	sd	cv (%)
PP_{CAL}/PP	0,70	0,12	17,1	0,70	0,12	17,1
PL_{CAL}/PL	0,86	0,23	26,7	1,12	0,36	32,1
PR_{CAL}/PR	0,83	0,11	13,3	1,01	0,31	30,6
Relação	Estacas Apiloadas n = 6					
	<i>TE_{máx}</i>			<i>TE_{res}</i>		
	Média	sd	cv (%)	Média	sd	cv (%)
PP_{CAL}/PP	0,60	0,21	35,0	0,63	0,23	36,5
PL_{CAL}/PL	0,86	0,18	20,9	1,07	0,38	35,5
PR_{CAL}/PR	0,80	0,17	21,3	1,03	0,27	26,2
sd = desvio-padrão ; cv = coeficiente-de-variação						

BIBLIOGRAFIA

ABEF. Research on Foundation Engineering, *In*: INT. CONF. ON SOIL MECH. AND FOUND. ENGINEERING, XII. 1989. **Proceedings...** ABEF. Rio de Janeiro. 86p

ABOU-MATAR,H.; GOBLE,G.G. *SPT* Dynamic Analysis and Measurements. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, ASCE. October, 1997.p.921-928.

AGUIRRE,M.F., SOTELO, R.R. & SCHNAID,F. El Ensayo de Penetración Standard (SPT) en la Práctica de Ingeniería del Mercosur. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XI. 1998. **Anais...** ABMS. Vol. 2, p.729-736.

AGUINELLI, N. **Comportamento de um Solo Colapsível Inundado com Líquidos de Diferentes Composições Químicas**. Tese (doutorado). EESC – USP. 1997. 219p.

ALBURQUERQUE, P.J.R. **Análise do Comportamento de Estaca Pré-Moldada de Pequeno Diâmetro, Instrumentada, em Solo Residual de Diabásio da Região de Campinas**. Dissertação (mestrado). Dep. de Construções Rurais da Faculdade Eng. Agrícola. UNICAMP.1996, 170p.

ALBURQUERQUE, P.J.R **Estacas Escavadas, Hélice-Contínua e Ômega: Estudo do Comportamento à Compressão em Solo Residual de Diabásio, Através de Provas-de-Carga Instrumentadas em Profundidade**. Tese (doutorado). Escola Politécnica, USP. São Paulo.2001. 272p.

ALONSO, U.R. Correlação Entre o Atrito lateral medido com o Torque e o SPT. **Solos e Rochas**. Vol. 17, nº 3, p.191-194, 1994

ALONSO, U.R. Ensaio de Torque nos Sedimentos da Baixada Santista. **Solos e Rochas**. Vol. 18, nº 3, p.161-168, 1995

ALONSO, U.R. Estimativa da Adesão em Estacas a Partir do Atrito Lateral Medido com o Torque no Ensaio SPT-T. **Solos e Rochas**. Vol. 18, nº 1, p.191-194, 1996a.

ALONSO, U.R. Estacas Hélice Contínua com Monitoração Eletrônica. Previsão da Capacidade-de-carga através do SPT-T. *In*: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, III.1996b **Anais...** ABEF/ABMS. São Paulo. Vol 2, p. 141-151.

AOKI, N. Método Aoki & Veloso (1975). **Notas de Aula** da Disciplina SGS-817 "Engenharia de Fundações", ministrada no segundo período de 1996 no Departamento de Geotecnia da EESC-USP. São Carlos, 1996.

AOKI, N. e VELLOSO, D.A. *An Approximate Method to Estimate the bearing Capacity of Piles*. *In*: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, V. 1975. **Proceedings...** ISSMGE. Buenos Aires. Vol 1, p 367-376.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA (1998) **Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos**. 1ª Edição. Editora Hexagrama. São Paulo (SP). 1998. 288 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA **Diretrizes para Execução de Sondagens**. ABGE, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. 33 p.1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6484**: Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos. 12 p.1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. 5 p,1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios . 4 p, 1983.

BALLIOT, R. T. & RIBEIRO JÚNIOR, A. Sondagem a Percussão, Comparação entre Processos Disponíveis para Ensaio SPT (Standard Penetration Test). *In*: BIC - SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, IV. 2000. **Anais...** ABMS, USP: São Paulo.Vol. 3, p. 122-133.

BELINCANTA, A. **Avaliação de Fatores Intervenientes no Índice de Resistência à Penetração do SPT**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Vol 1 e 2.361p

BELINCANTA, A.; DIONISI, A.; MACHADO, J. R. A.; ALVIM, F. M.; RAMIRES SOBRINHO, R.; NAVAJAS, S.; TACHIBANA, L.S. Medidas de energia dinâmica no SPT, sistema IPT. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10.1994. **Anais...** ABMS. Foz do Iguaçu Vol. 2.

BELINCANTA, A. **Energia Dinâmica no SPT, Resultados de uma Investigação Teórico-Experimental**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1985

BRANCO, C.J.M.C.; MIGUEL, M. G. e TEIXEIRA, R. S. Implantação do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica no Campus da UEL. *In*: COBRAMSEG, XI. 1998. **Anais...** ABMS. Brasília. Vol.2, p. 1015-1022.

BRANCO, C.J.M.C.; MIGUEL, M. G. e TEIXEIRA, R. S. Estudo do Comportamento de Estacas Hélice-Contínua Monitoradas em Solo Argiloso Mediante Provas-de-Carga e Métodos Semi-Empíricos. *In*: SEFE, IV. 2000. **Anais...** ABMS/ABEF. São Paulo. Vol.1, p. 116-126.

CARVALHO, D. Provas-de-Carga à Tração e Compressão em Estacas Instrumentadas do Tipo Strauss. **Relatório FAPESP**. Processo 300755/87. 1995. 142p.

CARVALHO, D. **Análises de Cargas Últimas à Tração de Estacas Escavadas, Instrumentadas, em Campo Experimental de São Carlos –SP**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.1991, 226 p.

CARVALHO, D.; PERES, J. E. E.; SEGANTINI, A. A. S. & MENEZES, S. M. Campo Experimental para Estudos de Mecânica dos Solos e Fundações em Ilha Solteira - SP. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XI. 1998. **Anais...** ABMS. Brasília.Vol. 1, p.143-148.

CARVALHO, J.C. , FERREIRA, J.H.F., GUIMARÃES, R.C. e ABREU, P.S.A. Análise da Influência da Sucção nos Resultados de SPT e SPT-T em Solos Porosos Colapsíveis. *In*: Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. 2001. **Anais...** ABMS. Porto Alegre (RS).

CARVALHO, J.C., GUIMARÃES, R.C. e ROY, M. Essai SPT-T, Un Outil Pour La Prospection Géotechnique. Conférence Canadienne de Geotechnique. 53e. 2000. **Proceedings...**Montréal. CA. 1: 1221 – 1228.

CARVALHO,J.C.; GUIMARÃES,R.C. e PEREIRA,J.H.F. Utilização do Ensaio SPT-T no Dimensionamento de Estacas . *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS

SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XI.1998. **Anais...** ABMS. Brasília.Vol. 2, p.973-982.

CAPUTO, A.N.; TAROZZO, H.; ALONSO, U.R. e ANTUNES, W.R. **Estacas Hélice-Contínua, Projeto, Execução e Controle**. São Paulo: Instituto de Engenharia. ABMS. 1997. 60p.

CARNEIRO, B.J.I. **Comportamento de Estacas Apiloadas em Solo Colapsível**. Dissertação (Mestrado). EESC/USP. São Carlos, 1994.

CHIARELLI, C.O. **Execução e Análise de Provas-de-Carga à Compressão em Estacas Tipo Broca em Solo Argiloso Poroso Mole Característico da Região de Londrina/PR**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Universidade Estadual de Londrina. Londrina (PR). 1999. 19p.

CINTRA, J.C.A. Solos Colapsíveis. *In: Fundações em Solos Colapsíveis*. 1ª ed. São Carlos: Serviço Gráfico da EESC/USP. 1998. Cap. 1, pag. 7 a 14:

CORRÊA,C.N. & ROCHA,L.M.B. Comparação Entre Adesão Obtida Através do Torque Medido nas Sondagens à Percussão e Resistência Lateral de Estracas Pré-Moldadas. . *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XI.1998. Anais...* ABMS. Brasília. Vol. 2, p.1557-1560.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 13ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1977. 264p.

DECOURT, L. A More Rational Utilization of Some Old In Situ Tests. *In: GEOTECHNICAL SITE CHARACTERIZATION, 1998. Proceedings...* Balkema. Atlanta,USA. p. 913 a 918.

DECOURT, L. et al Investigações Geotécnicas. *In: HACHICH W. (coord.) Fundações: Teoria e Prática*. 1ª edição. São Paulo, Pini. 1996, p119 a 162.

DECOURT,L. Fundações - Projeto, Construção, Investigação, Comportamento e Instrumentação *In*: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, III. 1996. Conferência proferida em 26/11/1996. **Anais...** ABMS/ABEF. São Paulo. Vol 1, p. 21-32.

DECOURT,L. SPT in non classical materials. *In*: U.S. – BRAZIL GEOTECHNICAL WORKSHOP ON “ APPLICABILITY OF CLASSILCAL SOIL MECHANICS PRINCIPLES OF STRUCTURED SOILS”. . 1992. **Proceedings...** Belo Horizonte.p.64-100.

DECOURT,L. Previsão dos deslocamentos horizontais de estacas carregadas transversalmente com base em ensaios penetrométricos *In*: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS, II. 1991. **Anais...** ABMS/ABEF. São Paulo. Vol 2, p. 340-362.

DECOURT,L. The Standard Penetration Test, State of the Art. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, XII. 1989. **Proceedings...** ISSMGE. Rio de Janeiro, p 2405-2428.

DECOURT, L. e NIYAMA, S. Predicted and Measured Behavior of Displacement Piles in Residuals Soils. *In*: ICSMFE, XIII. 1994. **Proceedings...** ISSMGE. New Delhi. India. p.477-486.

DECOURT, L. e QUARESMA, A.R. Capacidade-de-carga de Estacas a partir de Valores SPT. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, VII. 1978. **Anais...** Rio de Janeiro. Vol. 1, p. 45-54.

DECOURT,L; QUARESMA FILHO, A R. Practical Applications of the Standard Penetration Test Complemented by Torque measurements, SPT-T; Present Stage and Future Trends. *In*: ICSMFE, XIII. 1994. **Proceedings...** ISSMGE. New Delhi. India. p.143-146.

DECOURT,L. e QUARESMA FILHO, A.R. The SPT-CF, an Improved SPT. *In*: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS, II. 1991.**Anais...** São Paulo. Vol 2, p. 106-110.

DRUMRIGHT, E.E.; PFINGSTEN,C.W. & LUKAS,R.G. Influence of Hammer Type on SPT Results. ***Journal of Geotechnical Engineering***. ASCE. p. 598-599. July, 1996.

FERREIRA, C.V. **Efeito da Inundação do Solo no Comportamento de Estacas Moldadas *In Loco*, Instrumentadas, em Campo Experimental de Bauru-SP**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998, 160p.

FERREIRA,C.V.; ALBIERO,J.H.; LOBO,A.S. & CARVALHO,D. Correlações entre Atrito Lateral Medido em Provas-de-carga, Em Estacas Apiloadas, Instrumentadas e Resultados de Ensaio SPT-T e CPT. **Solos e Rochas**. Vol. 21, nº 1, p.3-18, 1998.

GIACHETI, H. L. **Estudo Experimental de Parâmetros Dinâmicos de Alguns Solos trpicais do Estado de São Paulo**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 1991, 232p.

GIACHETI, H. L., RÖHM, S. A., NOGUEIRA, J. B. e CINTRA, J. C. A. Propriedades geotécnicas do sedimento cenozóico. *In*: J. C. A. Cintra & J. H. Albiero (eds.). **Solos do Interior de São Paulo**, ABMS, São Carlos, 1993. Cap 6, p. 143-178.

GIACHETI, H. L. , FERREIRA, C. V. & CARVALHO, D. In-Situ Testing Methods for Characterization of Brazilian Tropical Soils. *In*: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTHECNICAL ENGINEERING, XI. 1999. **Proceedings...** ISSMGE. . Foz do Iguaçu. Vol. 1, p.307 - 314

GUIMARÃES, R. C.; CARVALHO, J. C.; PAOLUCCI, H. V. N.; PEREIRA, J. H. F. e CUNHA, R. P. Utilização do ensaio SPT-T na Modelagem Constitutiva do Solo Poroso de Anápolis-GO. *In*: BIC - SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, IV. 2000. **Anais....** ABMS. USP: São Paulo.Vol. 3, p. 113-121.

HACHICH, W.; FALCONI, F.F.; SAES, J.L.; FROTA, R.G.Q.; CARVALHO, C.S. e NIYAMA, S. **Fundações: Teoria e Prática**. Editora Pini. 1ª Edição. Novembro. 1996.

KULHAWY, Fred. H. Estimation of Soil Properties for Foundation Design. *In: Geo-Institute Conference, 2000. **Short Course Lecture Notes***. Denver, CO, USA. 72 pag.

LYNS TECNOLOGIA ELETRÔNICA AqDados - **Manual do Usuário**. São Paulo. Código do Documento S090.U.01.A.1996.

LUNNE, Tom, ROBERTSON, Peter K. POWELL, John J. M. **Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice**. Black Academic and Professional. London, UK. 1997, 332p.

LUTENEGGER, A.J. & KELLEY, S.P. Standard Penetration Tests With Torque Measurement. *In: GEOTECHNICAL SITE CHARACTERIZATION. 1998. **Proceedings...*** Balkema. Atlanta, USA. Pag 939 a 945.

MACHADO, S.L. **Aplicação de Conceitos de Elastoplasticidade a Solos Não Saturados**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998, 360p.

MANTILLA, J.N.R.; ALBIERO, J.H. & CARVALHO, D. Transferência de Carga em Estacas Escavadas à Compressão. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, X. 1994. **Anais...*** ABMS. Foz do Iguaçu. Vol 1, p.301-310.

MANTILLA, J.N.R. **Comportamento de Estacas Escavadas, Instrumentadas, à Compressão**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992, 251 p.

MASSAD, F. Baixada Santista: Implicações da História Geológica no Projeto de Fundações. Solos e Rochas. Vol. 22, n^o 1, p.3-49, 1999.

MELLO, V. F. B. The Standard Penetration Test – A State-of-the-Art Report. *In: PAN AMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, IV. 1971. **Proceedings...*** ISSMGE. Porto Rico. Vol 1., p. 1 a 86.

MENEZES, R. S. Uma Proposta de Padronização para a Terminologia Descritiva de Amostras de Solos Coletadas em Sondagens. *In*: BIC - SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, IV. 2000. **Anais...** ABMS. USP: São Paulo. Vol. 3, p. 326-328.

MENEZES, S. M. **Análise do Comportamento de Estacas Pré-Moldadas em Solo de Alta Porosidade do Interior do Estado de São Paulo**. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1997, 377 p.

MENEZES, S.M. **Correlações entre os Ensaios de Penetração (SPT;CPT) e os Resultados de Ensaios de Laboratório para a Região de São Carlos (SP)**. Dissertação (mestrado). EESC/USP. São Carlos. 1990. 106p.

MENEZES, S. M.; CARVALHO, D. & SOUZA, T. M. Correlações entre Resultados de Ensaios Penetrométricos (N , q_c , f_{ST} , f_{SC}) para o Solo da Região de Ilha Solteira-SP. *In*: BIC - SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, IV. 2000. **Anais...** ABMS. USP: São Paulo. Vol. 3, p. 173-184.

MENEZES, S.M. e DALL'AGLIO SOBRINHO, M. Avaliação do Ensaio SPT- Energias, torques, Impactos, Velocidades e suas Limitações. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, X.1994. **Anais...** ABMS. Foz do Iguaçu. Vol 2, p.358-366

MONACCI, M.D. Estudo da Colapsibilidade de Um Solo do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp. Dissertação (Mestrado). Dep. de Construções Rurais da Faculdade Eng. Agrícola. UNICAMP.1995, 114p.

PEDROSO, N.F. e TEIXEIRA, R.S. Provas-de-Carga em Estacas preenchidas com Solo-Cimento Plástico, Executadas na Camada de Argila Porosa da Cidade de Londrina/PR. *In*: SEFE, IV. 2000. **Anais...** ABMS/ABEF. São Paulo:USP. Vol. 1, p 333-340.

PEIXOTO, A. S. P. e CARVALHO, D. Standard Penetration Test with Torque Measurements (SPT-T) and some factors that affect the T/N ratio *In*: PANAMERICAN

CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTHECNICAL ENGINEERING, XI. 1999. **Proceedings...** ISSMGE. Foz do Iguaçu. Vol. 3. Page 1605-1612.

PENNA, A.S.D.; CAPUTO, A.N.; MAIA, C.M.; PALERMO,G.; GOTLIEB, M.; PARAÍSO, S.C. e ALONSO, U.R. **Estaca Hélice-Contínua, A Experiência Atual**. São Paulo: Instituto de Engenharia. ABMS/ABEF. 199. 162p.

PHILIPPONNAT, G. Méthode pratique de calcul des peux á l'aide du pénétrômetre statique. **Informations Techniques Bulletin**, Paris, Soletanche Enterprise, 21p. 1978.

PINTO, C.S. **Influência da Granulometria das Areias na Capacidade-de-carga Investigada por Meio de Modelos**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da USP. São Paulo. 1966.

PRESA, E. P. A Técnica do SPT-T para obtenção de Parâmetros Geotécnicos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 30ª. 1996. **Anais...** ABPv. Salvador. p. 570-587.

RANZINI, S.M.T. **Capacidade-de-carga de Estacas a Partir da Medida do Atrito Lateral no SPTF**. Palestra. Instituto de Engenharia. ABMS. São Paulo. Março. 2000.

RANZINI, S.M.T. SPTF : 2ª parte. **Solos e Rochas**. Vol. 17, p. 189-190.1994.

RANZINI, S.M.T. SPTF. **Solos e Rochas**.Vol. 11, p. 29-30. 1988.

RODRIGUES,A.A.; CARVALHO,J.C., CORTOPASSI,R.S. & SILVA,M.C. Avaliação da Adaptabilidade de Métodos de Previsão de Capacidade-de-carga a Diferentes Tipos de Estacas. . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XI. 1998. **Anais...** ABMS. Brasília. Vol. 2, p.1591-1598.

SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações**. 1ª ed. São Paulo. Oficina de Textos. 2000. 189p.

SEGANTINI, A.A.S. **Utilização de Solo-Cimento Plástico em Estacas Escavadas com Trado Mecânico em Ilha Solteira – SP**. Tese (Doutorado). Dep. de Construções Rurais da Faculdade Eng. Agrícola. UNICAMP.2000, 176p.

SEGANTINI, A.A.S. & CARVALHO D. Utilização de solo-cimento em fundações. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, XXVII. 1995. **Anais...** Tucuman, Argentina. Pag. 199-210.

SCHMERTMANN, J.H. & PALACIOS, A. Energy Dynamics os SPT. **Journal of the Soil Mechanics na Foundation Division**, ASCE, Vol. 105, n. GT8, August, 1979.

SILVA, P. A. B. A. **Capacidade-de-carga de Grupos de Estacas Escavadas de Pequeno Diâmetro**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996. Vol 1, 123p

SKEMPTON, A.W. Standard Penetration Test Procedures and effects in Sands of overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Over Consolidation. **Géotechnique**, Vol. 36, n.3, p. 425-447. 1986.

SOARES, J. M. **Emprego do SPT-T e Pressiômetro Ménard em um Depósito Arenoso da Região Litorânea de João Pessoa**. Dissertação (Mestrado). Universidade federal da Paraíba. Departamento de Engenharia Civil. Campina Grande. 1999. 98p.

TEIXEIRA, A.H. Um Aperfeiçoamento das Sondagens de Simples Reconhecimento à Percussão. In: Cintra, J.C.A. e Albiero, J.H. (eds.). **Solos do Interior de São Paulo**. ABMS, São Carlos, 1993. p.77-93

TEIXEIRA, C. Z. **Capacidade-de-carga de Sapatas, Estacas de Pequeno Diâmetro e Tubulões Curtos em Função do SPT: Um Estudo para a Região Sul de Minas**. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997. Vol 1, 369p

VAN DER VEEN, C. The Behavior Capacity of a Pile. In: ICSMFE, III. 1953. **Proceedings...** ISSMGE. Zurich, Vol.2, p 84-90.

VICENTE, F. A. SPT: Necessidade da Utilização da Padronização e Correlações. *In*: BIC - SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, IV. 2000. **Anais...** ABMS. USP: São Paulo. Vol. III, p. 101-112.

VILAR, Orêncio Monje **Estudo da Compressão Unidirecional do Sedimento Moderno (Solo Superficial) da Cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1979. Vol I. 106p.

VILLEFORT, L. F. C. B. **Comparações entre os Processos Manual e Mecanizados de Execução do SPT**. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica , USP. São Paulo. 2001. 117p.

XAVIER, S. R. & ROMANEL, C. Análise da Distribuição Espacial dos Valores do Ensaio SPT através de Método Geostático. *In*: BIC - SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, IV. 2000. **Anais...** ABMS. USP: São Paulo. Vol. 3, p. 138-147.