

## CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO LATERÍTICO DE LONDRINA/PR POR MEIO DE ENSAIOS DINÂMICO E ESTÁTICO

MIRIAM GONÇALVES MIGUEL<sup>1</sup>  
CASSIANO LUIZ MORAES GOMES<sup>2</sup>  
DANIEL FERMINO DA SILVA<sup>2</sup>  
KELLY DAYANE PEDROLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geotecnia e Transportes da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Cidade Universitária “Zeferino Vaz”. Avenida Albert Einstein n. 951 - Barão Geraldo - CEP 13083-852 – Campinas/SP - Caixa Postal 6021 - Telefone: 19.3788.2393 - Fax: 19.3788.2411. E-mail: [mgmiguel@fec.unicamp.br](mailto:mgmiguel@fec.unicamp.br)

<sup>2</sup> Departamento de Construção Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo. Universidade Estadual de Londrina. Campus Universitário Perobal. Caixa Postal 6001 - CEP 86051-990 – Londrina/PR – Telefone/Fax: 43.3371.4455. E-mail: [danielfermino@pop.com.br](mailto:danielfermino@pop.com.br)

### RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de sondagens dinâmicas do tipo SPT-T, DPL, DPSH e de sondagens estáticas do tipo CPT, realizadas no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica “Prof. Saburo Morimoto” (CEEG) da Universidade Estadual de Londrina, cujo subsolo é característico da região de Londrina/PR. Os parâmetros de resistência, obtidos por essas sondagens e analisados neste trabalho, são os referentes à camada de solo superficial, composta por uma argila siltosa, porosa, laterítica, colapsível, de estrutura microagregada, residual de basalto e típica de solos tropicais. A partir desses parâmetros foi possível apresentar e analisar correlações para o solo em questão.

**Palavras-Chave:** Investigação Geotécnica, Solos Lateríticos, Ensaio de Campo.

### ABSTRACT

*This paper presents results from dynamics tests field of SPT-T, DPL, DPSH and from static test field CPT, were performed t on Experimental Field of Geotechnical Engineering, of State University of Londrina, where soil profile is very typical of Londrina city, Brazil. Correlations between the blow counts are presented for the superficial layer of tropical soil, residual of basalt, compost for porous and collapsible clay.*

**Keywords:** Geotechnical Tests, Tropical Soils, Test Field.

### INTRODUÇÃO

#### O Perfil Geotécnico Típico da Cidade de Londrina

A cidade de Londrina se situa no norte do Estado do Paraná, na região Sul do país e está localizada à cerca de 220 quilômetros à leste do rio Paraná. O Campo Experimental de Engenharia Geotécnica (CEEG) “Prof. Saburo Morimoto” da Universidade Estadual de Londrina, cujo subsolo pode ser considerado característico da região, possui uma área de cerca de 2900 m<sup>2</sup> (dois mil e novecentos metros quadrados) e funciona como campo de experimentos geotécnicos.

No CEEG foram realizadas várias sondagens para a caracterização de seu subsolo, como por exemplo, as sondagens do tipo dinâmico SPT-T (*Standard Penetration Test with Torque Measurements*), DPL (*Dinamic Probing Light*), DPSH (*Dinamic Probing Super Heavy*), e a sondagem do tipo estático CPT (*Cone Penetration Test*), além da abertura de poços de inspeção. A Figura 1 mostra a carta topográfica planialtimétrica do CEEG, com a distribuição dos furos de sondagens.

Nas sondagens SPT-T foram coletadas, a cada metro de profundidade, amostras de solo deformadas, as quais foram submetidas aos ensaios de caracterização em laboratório, obtendo assim os teores de umidade natural, as massas específicas dos sólidos, as granulometrias e os limites de consistência. Esses índices físicos foram apresentados por MIGUEL *et al* (2002) e por TEIXEIRA *et al* (2003a).

O subsolo do CEEG, segundo MIGUEL *et al* (2002), é constituído por quatro camadas distintas de solo residual de basalto. A primeira, que se estende até a profundidade de 12 m, é constituída de argila siltosa, porosa, vermelho escuro, de consistência mole à média, laterítica e colapsível. A segunda, em profundidades de 12 m até 16 m, é representada por argila siltosa, vermelho, de consistência rija. Em profundidades de 16 m até 21 m, encontra-se a terceira camada de argila silto-arenosa, variegada, de consistência rija a dura e, finalmente, em profundidades maiores de 21 m e menores de 23 m (limite das sondagens), encontra-se argila areno-siltosa, variegada, de consistência dura. A Tabela 1 mostra os parâmetros geotécnicos obtidos para as quatro camadas de solo do CEEG.

De acordo com a classificação genética dos solos proposta por VAZ (1996), as camadas 1 e 2 são constituídas por solos eluviais (SE) e as camadas 3 e 4 por solos de alteração (SA). Já, de acordo com a classificação genética proposta por Vargas (1974 e 1985), a camada 1 representa o Horizonte I (solos residuais maduros), a camada 2 o Horizonte II (solos com vestígios de estruturas reliquias de rochas) e as camadas 3 e 4 o Horizonte III (solos definidos como saprolíticos finos e grossos, respectivamente).

A primeira camada é resultante de um intenso intemperismo, sofrido pela rocha basalto de origem, apresentando características de solo laterítico, provocadas pelo processo de lixiviação, com duas estruturas macro e microporosas (COZZOLINO & NOGAMI, 1993). Em função disso, esse solo possui permeabilidade alta, volume de vazios elevado e massa específica aparente baixa.

As argilas presentes no solo da primeira camada apresentam caulinita, gibsitita e vermiculita em sua composição mineralógica, com predomínio do primeiro mineral, além da presença de óxidos de ferro sob a forma de hematita. (TEIXEIRA *et al.*, 2003a e DÉCOURT, 2002).

De acordo com o ensaio de microscopia eletrônica de transmissão realizado neste solo, as caulinitas se estruturam como microhexágonos de coloração clara, empilhados uns sobre os outros, enquanto a hematita e a goethita se organizam em agregados esféricos, responsáveis pela cor do solo.

Em termos de granulometria, o solo da camada superficial apresenta grande porcentagem de partículas de argila, em torno de 85%, e 11% de silte quando se utiliza defloculante (hexametáfosfato de sódio+carbonato de sódio) no ensaio de sedimentação (NBR 7181/84). Quando não se utiliza defloculante, a porcentagem de silte ocorre na média de 60%, predominando sobre a de argila, em torno de 25%. No primeiro caso, o solo é classificado, segundo a NBR 6502/80, como argila siltosa e no segundo, como silte argiloso.

Dessa maneira, constata-se que na prática, a estrutura dos solos finos lateríticos, típica dos solos tropicais, fazem com que esses solo possuam comportamento de siltes e até de areias finas, o que não é identificado através das curvas granulométricas obtidas na sedimentação com defloculante. DÉCOURT (2002) coloca que as argilas lateríticas possuem rigidez superior às argilas não lateríticas, mesmo apresentando valores similares de resistência ao amostrador padrão ( $N_{SPT}$ ) na sondagem SPT. Isso acarreta, por exemplo, em estimativas de capacidade de carga de fundações, através de métodos semi-empíricos, bastante conservadores.

Quanto à colapsibilidade do solo desta camada, vários estudos demonstraram essa característica para o solo poroso de Londrina, como LOPES *et al* (2000) e TEIXEIRA *et al* (2003b), por meio de ensaios de adensamento em amostras indeformadas, coletadas até a profundidade de 7 m nos poços de inspeção abertos no CEEG. Os solos colapsíveis, quando sofrem aumento de sua umidade, sem chegar até a sua saturação, e submetidos a um determinado estado de tensões, sofrem deformações repentinas e de grandes proporções, como se tivesse ocorrido o colapso de sua estrutura.

A maioria dos projetos geotécnicos na região de Londrina (obras de contenção, estabilidade de taludes, fundações, estradas e outros) se interage com o solo da camada superficial sofrendo as influências de seu comportamento laterítico e colapsível, que muitas vezes se afasta do esperado pela Mecânica dos Solos Clássica.

Dessa maneira, nota-se a importância em concentrar estudos para a obtenção de parâmetros geotécnicos dessa primeira camada, colaborando este trabalho com a apresentação e análise de parâmetros de resistências dinâmica e estática, obtidos nas sondagens do tipo SPT-T, DPL, DPSH e CPT, realizadas no CEEG.

### **Sondagem SPT-T (Standard Penetration Test with Torque Measurements)**

A sondagem SPT, padronizada pela NBR 6484/2001, consiste em determinar uma resistência dinâmica ( $N_{SPT}$ ) do solo à cravação de um amostrador-padrão, no fundo de um furo de escavação (revestida ou não), por meio de golpes oriundos da queda livre de um peso (65 kg) a uma altura de 75 cm. O  $N_{SPT}$  é número de golpes necessário para que o amostrador-padrão penetre os últimos 30 cm ( $N_{SPT}$ ), após a cravação total de 45 cm, iniciando sempre em cotas de números inteiros. O amostrador-padrão permite também a coleta de amostras representativas a cada metro de profundidade. O avanço em profundidade do furo de escavação é feito conforme procedimentos da sondagem de simples reconhecimento por meio de tradagem e de circulação de água com a ferramenta trépano de lavagem.

Pode-se realizar também a medição do torque necessário para se vencer a aderência do amostrador-padrão, quando cravado, com o solo que o envolve. O aparelho usado para tal é o torquímetro, juntamente com todo o restante do equipamento necessário ao SPT. Após a cravação do amostrador-padrão e leitura do  $N_{SPT}$ , acopla-se o torquímetro à haste e realiza-se um giro manualmente, movimentando assim todo o conjunto haste/amostrador. Assim, as leituras dos Torques Máximo ( $T_{m\acute{a}x}$ ) e Residual ( $T_{res}$ ) são realizadas, pois mesmo após a desestruturação do solo em torno do amostrador-padrão, ainda existe uma resistência residual por parte do solo.

A relação entre o valor do Torque Máximo e do  $N_{SPT}$  ( $T_{m\acute{a}x}/N_{SPT}$ ) é denominada de índice de torque e a Tabela 1 apresenta seus valores para os solos das quatro camadas do CEEG, conforme MIGUEL *et al* (2002).

Os Torques podem ser convertidos em valores de atritos laterais unitários máximos ( $f_{st,m\acute{a}x}$ ) e residuais ( $f_{st,res}$ ) conforme a expressão de Ranzini (1994),  $f_{st} = T / (40,5366h - 3,1711)(kgf.cm^2)$ , onde h é a profundidade de cravação em cm (no caso considerada igual a 45 cm), T é o valor do torque medido em kgf.cm

### **Sondagem DPL (Dinamic Probing Light)**

O DPL é um ensaio não tão tradicional no Brasil quanto o SPT, porém com vantagens de ser simples, rápido e de poder também completar uma prospecção geotécnica realizada pelo SPT. Suas características técnicas e metodológicas de ensaio são normatizadas pela Norma Alemã DIN 4094.

O DPL consiste na aplicação de golpes em um hasteamento, contendo em sua extremidade inferior um cone de ponta fechada de 35,7mm de diâmetro, por meio da queda livre de um

martelo de 10 kg a uma altura de 50 cm (Figura 2). O valor da resistência do solo ( $N_{10}$ ) é definido pelo número de golpes necessário para cravar o cone no solo a cada 10 cm de profundidade.

Pelo fato de o DPL utilizar um cone de ponta fechada, ele não possibilita a coleta de amostras do solo, mas permite fazer a análise visual através dos vestígios de solo que ficam presos às ranhuras das hastes e na ponteira (cone). Existe também um outro tipo de DPL, o DPL Nilsson, que possui as mesmas características do DPL convencional, porém se refere a um equipamento manual, portátil e que ainda permite obter valores de torque a cada metro.

### **Sondagem DPSH (*Dynamic Probing Super Heavy*)**

A sondagem DPSH (*Dynamic Probing Super Heavy*) também é pouco difundida no Brasil, devido à necessidade de equipamento especial e de operadores treinados. O equipamento utilizado é composto de um sistema de aplicação de esforços, que pode ser dimensionado de acordo com as necessidades observadas.

O ensaio consiste na cravação de uma ponteira cônica, com dimensões padronizadas, pela queda livre de um martelo de 63,5 kg, elevado a 75 cm de altura (Figura 3). O valor  $N_{20}$  é o resultado do número de golpes aplicados para cravar a ponteira a cada 20 cm de profundidade de solo. Nota-se que a altura de queda do martelo é a mesma da sondagem SPT e o peso do martelo é pouco menor.

### **Sondagem CPT (*Cone Penetration Test*)**

O método de ensaio do CPT (NBR12069/1991) consiste na cravação estática de um cone, com extremidade em vértice de 60° e área de base de 10 cm<sup>2</sup>, verticalmente, com velocidade constante de 2 cm/s. O equipamento de cravação é composto por um sistema de reação que permite a aplicação das cargas. Este ensaio fornece medidas de  $q_c$  e  $f_s$  que são, respectivamente, as resistências de ponta e ao atrito lateral do cone, além disso não permite a coleta de amostras do solo, como o SPT.

Existem dois tipos de cone: os cones mecânicos (tipos Delft ou Begemann) e os elétricos. Nos primeiros, a leitura de  $q_c$  e  $f_s$  é feita na superfície, através da transferência mecânica (pelas hastes) dos esforços para cravar a ponta e o fuste do cone, a cada 20 cm de cravação. Nos segundos, a leitura se dá de maneira direta pela ponteira, através de células de carga instrumentadas eletricamente. Além disso, o CPT elétrico pode permitir a medida de poro pressões por meio de pedras porosas, dispostas em diferentes posições, denominado, neste caso, de piezocone (CPTU). As Figuras 4 e 5 ilustram os dois tipos de cones mencionados.

## **METODOLOGIA**

### **Execução das Sondagens**

No CEEG, foram executados 14 (catorze) furos de sondagens tipo SPT-T, segundo procedimentos recomendados pela NBR 6484/2001, com a profundidade máxima alcançada de 23,5 m. O nível d'água foi encontrado somente nos furos de sondagem de números 9 (nove) e 12 (doze) nas profundidades de 19,9 m e 18,9 m, respectivamente.

Os valores de Torques Máximo ( $T_{\text{máx}}$ ) e Residual ( $T_{\text{res}}$ ) aplicados nas sondagens SPT-T, foram medidos em kgf.m e estiveram limitados a 40 kgf.m em função do porte do tipo de torquímetro utilizado e, também, da resistência das hastes da composição.

No CEEG foram executados 14 (catorze) furos de DPL convencional, próximos aos furos de SPT-T, e 1 (um) furo de DPL Nilsson. A profundidade máxima de avanço foi de 18 m.

As duas sondagens de DPSH, realizadas no CEEG, foram executadas, segundo as recomendações prescritas no ISSMFE (1989), em locais próximos aos furos de SPT-T de números 9 e 14. Os furos atingiram a máxima profundidade de 14 m.

No CEEG também foram executados dois furos de sondagens CPT do tipo elétrico, próximos às sondagens SPT-T de números 9 e 14. A profundidade máxima atingida foi de 19 m, o que não permitiu a leitura de poro pressões, em função do solo se encontrar em condições não saturadas.

### **Crítérios para Correlações Entre os Parâmetros**

Os valores dos parâmetros de resistência de  $N_{10}$  e  $N_{20}$ , obtidos respectivamente pelas sondagens DPL e DPSH, em função de serem obtidos, o primeiro a cada 10 cm de cravação e o segundo a cada 20 cm, foram trabalhados de maneira a representar valores referentes às mesmas profundidades, nas quais foram obtidos os valores de  $N_{SPT}$  nas sondagens SPT-T, segundo JACOB (1999). Dessa maneira, esses parâmetros poderiam ser correlacionados entre si. No caso do CPT, os valores de  $q_c$  e  $f_s$  utilizados na análise foram os obtidos nas profundidades coincidentes à determinação do  $N_{SPT}$ , ou seja, a cada 1,45 m.

Nas correlações entre os valores de  $N_{10}$ ,  $N_{SPT}$ ,  $T_{m\acute{a}x}$  e  $T_{res}$  tomaram-se os valores médios dos quinze furos e dos catorze furos, respectivamente, a cada metro de profundidade. Nas correlações entre os valores de  $N_{20}$ ,  $N_{SPT}$ ,  $q_c$ ,  $f_s$ ,  $f_{st,m\acute{a}x}$  e  $f_{st,res}$  foram considerados somente a média dos furos de números 9 e 14, em função das sondagens DPSH e CPT se disporem de somente dois furos.

Com a finalidade de obter as correlações para o solo superficial de argila siltosa, poroso, laterítico e colapsível da região de Londrina/PR, representado pela camada 1 (Tabela 1), foram considerados os parâmetros das sondagens obtidos até a cota de 12,45m.

### **APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

As correlações entre os valores médios obtidos de  $N_{SPT}$  versus Profundidade,  $N_{10}$  versus Profundidade,  $N_{20}$  versus Profundidade,  $T_{m\acute{a}x}$  versus Profundidade e  $T_{res}$  versus Profundidade se encontram na Figura 6, assim como as relações  $N_{10}/N_{SPT}$ ,  $N_{20}/N_{SPT}$  e  $N_{10}/N_{20}$  versus Profundidade. Já as correlações entre  $q_c$  versus Profundidade e  $f_s$  versus Profundidade se encontram nas Figuras 7 e 8.

A Figura 9 ilustra as correlações entre os valores médios de  $N_{SPT}$  versus  $N_{10}$  e  $N_{SPT}$  versus  $N_{20}$ . As Figuras 10, 11 e 12 mostram as correlações entre  $N_{SPT}$  versus  $q_c$ , entre a relação  $q_c/N_{SPT}$  versus profundidade e entre a relação  $f_s/q_c$  versus Profundidade, respectivamente. A Figura 13 mostra a relação entre  $f_s$  versus os  $f_{st,m\acute{a}x}$  e  $f_{st,res}$ .

Nos métodos semi-empíricos de estimativa de capacidade de carga de fundações a relação  $q_c/N_{SPT}$  é simbolizada por  $K$  e seu valor difere quanto à classificação granulométrica do solo. A relação  $f_s/q_c$  foi definida por BEGEMANN (1965) para o cone mecânico e simbolizada por  $\alpha$ , porém quando se realiza o ensaio com o cone elétrico, a relação  $f_s/q_c$  deve ser multiplicada por dois, em função das diferenças de geometria dos dois tipos de cones. No método AOKI & VELLOSO (1975) os valores de  $K$  e  $\alpha$ , para o solo argilo-siltoso, são  $220 \text{ kN/m}^2$  e  $4 \%$ , respectivamente. No método DÉCOURT & QUARESMA (1978) o valor de  $K$  para argilas é igual a  $120 \text{ kN/m}^2$ .

POLITANO *et al* (2001) obtiveram o valor de  $K$  igual a  $203 \text{ kN/m}^2$ , para solos argilosos silto-arenosos, residuais de basalto, da região de Estrela/RS. Além disso, observaram em solos residuais a redução de  $K$  com a diminuição do tamanho das partículas, como verificado na literatura técnica para solos sedimentares.

A Figura 6 mostrou uma tendência dos parâmetros  $N_{SPT}$ ,  $N_{10}$ ,  $N_{20}$ ,  $T_{m\acute{a}x}$  e  $T_{res}$  a serem crescentes com a profundidade conforme uma expressão logarítmica para o solo poroso de argila siltosa de

Londrina. As relações  $N_{10}/N_{SPT}$  e  $N_{20}/N_{SPT}$  são praticamente constantes com a profundidade, com valores próximos a 2 e a 0,5, respectivamente, conforme também ilustra a Figura 9. A relação entre  $N_{10}/N_{20}$  com a profundidade variou no intervalo entre 2 e 8, com média igual a 4, conforme as relações obtidas pela Figura 9.

JACOB (1999) obteve para solos argilo-siltosos e solos silto-argilosos com areia fina, oriundos do argilitos da Formação Guabirota, também uma expressão logarítmica de  $N_{10}$  com a profundidade ( $z$ ), válida para profundidades de 0 (zero) a 6 m e para  $N_{SPT}$  variando de 0 (zero) a 14 golpes:  $z = 4,8185 \ln(N_{10}) - 0,84$ , com  $z$  em metros.

NILSSON (2004) relatou que para o solo da cidade de Londrina/PR, com valores de  $N_{SPT}$  menores que 7 golpes, os valores de  $N_{10}$  se apresentaram maiores que os de  $N_{SPT}$ . Acima de 7 golpes, os valores de  $N_{10}$  e  $N_{SPT}$  se igualaram até o fim das sondagens, com 12 golpes.

A DIN 4094 apud JACOB (1999) estabelece a relação entre  $N_{SPT} = 0,6 \times N_{10}$ , para solos arenosos com baixa e média plasticidade e válida para intervalos de  $N_{SPT}$  entre 10 e 30. Observa-se que o valor de 0,5 da relação  $N_{SPT}/N_{10}$  obtido para o solo superficial do CEEG, foi muito próximo ao valor estabelecido pela DIN 4094.

As Figuras 7, 8 e 12 também apontaram uma tendência logarítmica dos parâmetros  $q_c$ ,  $f_s$  e da relação  $f_s/q_c$  com a profundidade, embora esta última relação mostrou-se praticamente constante, até a profundidade de 7,45 m, com valor igual a 0,6 %, o que equivale a um valor de  $\alpha$  igual a 1,2 %, bem mais próximo aos valores referentes aos solos arenosos (1,4 %) e bem distantes do valor sugerido para as argilas siltosas (4 %), segundo AOKI & VELOSO (1975).

A Figura 10 apontou o valor de 275 kN/m<sup>2</sup> para a relação  $q_c/N_{SPT}$  (K). Este valor é superior ao encontrado por POLITANO *et al* (2001) e aos obtidos por AOKI & VELOSO (1975) e por DÉCOURT & QUARESMA (1978), se aproximando mais dos valores sugeridos por estes dois últimos autores para solos classificados por siltes argilo-arenosos (250 kN/m<sup>2</sup>) ou por argilas areno-siltosas (300 kN/m<sup>2</sup>) e por solos silto-arenosos (250 kN/m<sup>2</sup>), respectivamente.

A tendência da relação  $q_c/N_{SPT}$  reduzir com a diminuição do tamanho das partículas não foi verificada para o solo superficial e residual de Londrina, assim como foi para os solos residuais estudados por POLITANO *et al* (2001). Com a profundidade, os solos residuais possuem maior granulometria, em função do menor grau de intemperismo e dos processos pedogenéticos sofridos. Na Figura 11, observou-se que os valores dessa relação sofreram redução à medida que se avança em profundidade.

Porém, isto pode ser explicado em função da estrutura macroporosa do solo superficial de Londrina, que, apesar de se constituir de um solo fino, bastante intemperizado, apresenta comportamento geotécnico de solo com granulometria superior. As características de laterização convergem na ocorrência de microagregações de argila, com granulometria semelhante às de silte ou até mesmo de areia, quando em seu estado natural.

Observando a Figura 13, notou-se que até a profundidade de 7,45 m os valores de  $f_s$  foram praticamente constantes e independentes dos torques aplicados. Para torques de no máximo 8 kgf.m, o valor de  $f_s$  ficou em torno de 0,01 MPa. A partir da profundidade de 7,45 m, as relações entre  $f_s$ ,  $f_{st,máx}$  e  $f_{st,res}$  puderam ser expressas de forma linear.

## CONCLUSÕES

A camada de solo superficial do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica (CEEG) da Universidade Estadual de Londrina, característico da cidade de Londrina/PR, constitui-se de uma argila siltosa, porosa, de consistência de mole a média, laterítica e colapsível, residual de basalto. A estrutura laterítica desse solo, com presença de agentes cimentantes como os óxidos de ferro, faz com que ele possua comportamento mecânico similar aos solos silto argilosos e uma rigidez superior às demais argilas não lateríticas.

Os resultados de sondagens SPT-T, DPL, DPSH e CPT, realizadas neste solo, demonstraram que

os parâmetros  $N_{SPT}$ ,  $N_{10}$ ,  $N_{20}$ ,  $q_c$ ,  $f_s$  e a relação  $f_s/q_c$  são crescentes com a profundidade conforme uma expressão logarítmica.

As relações entre  $N_{10}/N_{SPT}$  e  $N_{20}/N_{SPT}$  se apresentaram com valores constantes com a profundidade próximos a 2 e 0,5, respectivamente, sendo o primeiro valor próximo ao recomendado para solos arenosos.

O valor da relação  $q_c/N_{SPT}$  obtido foi igual a  $275 \text{ kN/m}^2$ , superior aos valores sugeridos para solos argilosos e argilo-siltosos, conforme literatura técnica, e próximos aos solos silto-arenosos. A relação entre  $f_s/q_c$  apresentou valor praticamente constante, até a profundidade de 7,45 m, de 1,2 %, próximo ao recomendado para areias. Da mesma maneira, os valores de  $f_s$ , até a profundidade de 7,45 m, foram praticamente constantes quando correlacionados com os atritos laterais unitários, em torno de 0,01 MPa para Torques aplicados de até 8 kgf.m

A relação  $q_c/N_{SPT}$  para o solo estudado não apresentou a tendência de reduzir com a diminuição do tamanho das partículas, típica de solos sedimentares. Os valores dessa relação sofreram redução à medida que crescem em profundidade ou granulometria.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura do Campus Universitário da UEL, ao Laboratório de Topografia do Departamento de Geociências da UEL, à Construtora CONSTRUBLOK Ltda, à MONFER Ferramentas, à SOLUM Engenharia e Geologia Ltda, à DATAGEO S/C Ltda, à THOMAS NILSSON Consultores Ltda.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1991) Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ensaio de Penetração de Cone *in situ* (CPT). **NBR12.069**.
- ABNT (2001) Associação Brasileira de Normas Técnicas. Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento de Solos. **NBR 6484**.
- ABNT (1980) Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas e Solos. Terminologia. **NBR 6502**.
- ABNT (1984) Associação Brasileira de Normas Técnicas - Análise Granulométrica. **NBR 7181**.
- AOKI, N. & VELLOSO, D.A. (1975) An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles. In: V Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. **Anais...** Buenos Aires. v.1, pp. 367-376.
- BEGEMANN, H.K.S.P. (1965) The Friction Jacket Cone as an Aid in Determining the soil Profile. In: 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. **Proceedings...** Montreal: University Press.
- COZZOLINO, V.M.N. & NOGAMI, J.S. (1993). Classificação Geotécnica MCT para Solos Tropicais, **Revista Solos e Rochas**. ABMS/ ABGE. v. 16:2, p. 77-91.
- DE MIO, G. & GIACHETI, H.L. (2002). O Uso Combinado de Sondagens CPTU, DPSH e Coleta de amostras utilizando um penetrômetro automático multifunção. 10o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. **Anais...** Ouro Preto/MG. CDRom.
- DÉCOURT, L. & QUARESMA, A.R. (1978) Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. **Anais...** Rio de Janeiro, v.1, pp. 45-54.
- DÉCOURT, L (2002). Capacidade de carga em estacas executadas no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica da Universidade Estadual de Londrina. Algumas ponderações. XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. **Anais...** São Paulo/SP. Vol. 3, pp.1545-1555.
- DIN 4094 Erkundung durch Sondierungen. Alemanha.

- ISSMFE - International Reference Test Procedure for Dynamic Probing (DP) (1989). **Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils**. TC 16 with Reference Test Procedures. Swedish Geotechnical Society, 49 p.
- JACOB, J.H. (1999) **Aplicação de penetrômetro dinâmico portátil nos argilitos da formação Guabirota. Características Geotécnicas da Formação Guabirota**. ABMS – Núcleo Regional do Paraná e Santa Catarina.
- LOPES, F.F., FAZINGA, W.R., TEIXEIRA, R.S. (2000) Avaliação do Potencial Colapsível da Camada Superficial Porosa da Região de Londrina. In: Encontro Anual de Iniciação Científica. **Anais...** Londrina: UEL, v. 1. pp. 419-420.
- MIGUEL, M.G.; BELINCANTA, A.; BRANCO, C.J. M.C., PINESE, J.P.P. e TEIXEIRA, R.S. (2002) Caracterização geotécnica do subsolo da cidade de Londrina/PR. 10o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. **Anais...** Ouro Preto/MG. CDRom.
- NILSSON, T.U. (2004) Comparações entre DPL NILSSON e SPT. IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul. **Anais...** Curitiba/PR. pp. 61-68.
- POLITANO, C.F.; DANZIGER, F.A.B.; DANZIGER, B.R. (2001) Correlações entre os resultados de CPT e SPT em Solos Residuais. **Revista Solos e Rochas**. v.24:1, Abril.
- RANZINI, S.M.T. (1994). SPTF – 2a Parte. **Revista Solos e Rochas**. v. 17:3. p. 189-190.
- TEIXEIRA, R.S, MIGUEL, M.G., BRANCO, C.J.M.C.; PINESE, P.P. (2003a) Caracterização Geológico-Geotécnica do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica “Prof. Saburo Morimoto” da Universidade Estadual de Londrina (UEL). I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense. **Anais...** Maringá/PR. pp.165-182.
- TEIXEIRA, R.S; LOPES, F.F.; MIGUEL, M.G.; BRANCO, C. J. M.C.; BELINCANTA, A. (2003b) Comportamento colapsível da camada de solo superficial da cidade de Londrina/PR. I Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense. **Anais...** Maringá/PR. pp.183-189.
- VARGAS, M. (1974) Engineering properties of residual soils from South Central region of Brazil. In: ICICACEG, 2, IAGE, **Proceedings...** v. IV, pp 5.1-5.26, São Paulo.
- VARGAS, M. (1985) The concept of tropical soils.. In: Intl. Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1, ISSMFE, **Proceedings...** v. 3, pp. 101-134, Brasília.
- VAZ, L.F. (1996) Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. **Revista Solos e Rochas**, São Paulo, v.19:2, p.117-136.

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros geotécnicos das camadas de solo do CEEG.

<i>Parâmetros Geotécnicos</i>	<i>Camada 1 0m a 12m</i>	<i>Camada 2 12m a 16m</i>	<i>Camada 3 16m a 21m</i>	<i>Camada 4 21m a 23m</i>
w (%)	33	39	48	45
LL (%)	61	67	74	72
LP (%)	45	50	53	52
IP (%)	16	17	21	20
Argila (%)	81	75	69	62
Silte (%)	12	14	17	18
Areia fina (%)	7	11	15	20
Massa Específica dos Sólidos (kN/m <sup>3</sup> )	30,6	30,7	31,01	30,07
Massa Específica Natural (kN/m <sup>3</sup> )	14,0	-	-	-
Porosidade (%)	60	-	-	-
Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)	3,2 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-
T <sub>max</sub> /N <sub>SPT</sub>	1,00	1,30	1,46	1,40
Consistência	Mole a Média	Rija	Rija a Dura	Dura

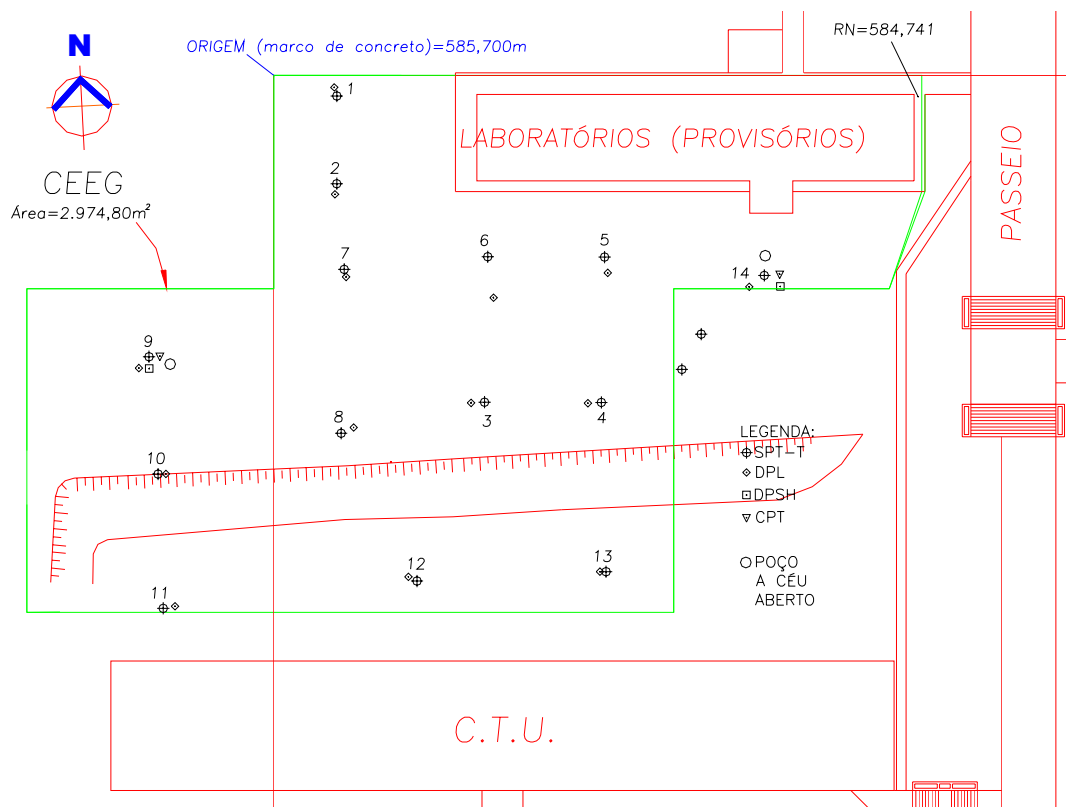


Figura 1. Planta do CEEG com os furos de sondagens

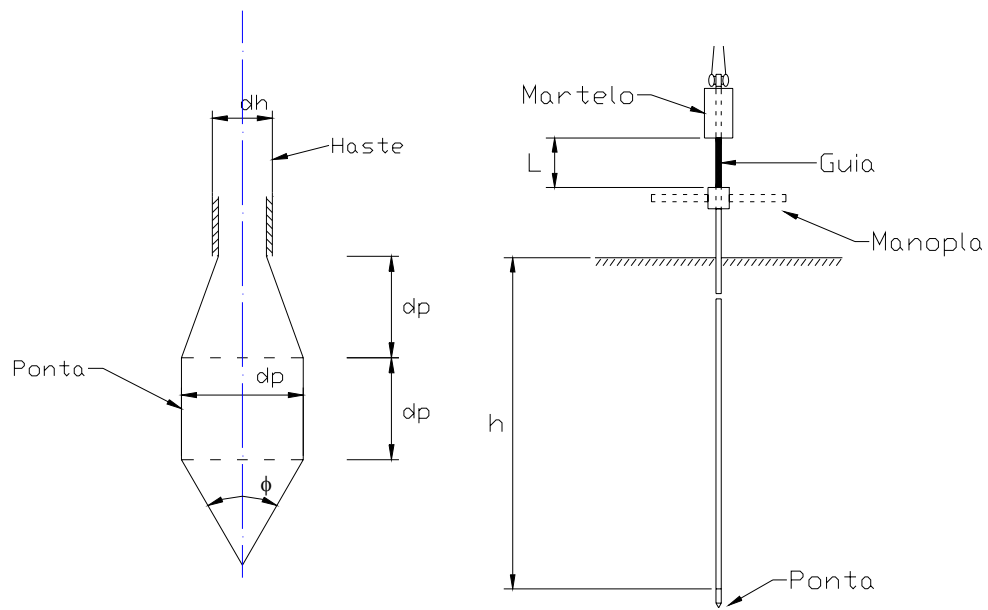


Figura 2. Esquema do equipamento DPL

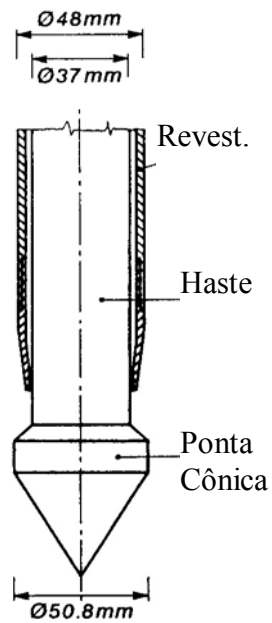


Figura 3. Esquema do cone do DPSH (apud De Mio & Giacheti, 2002).

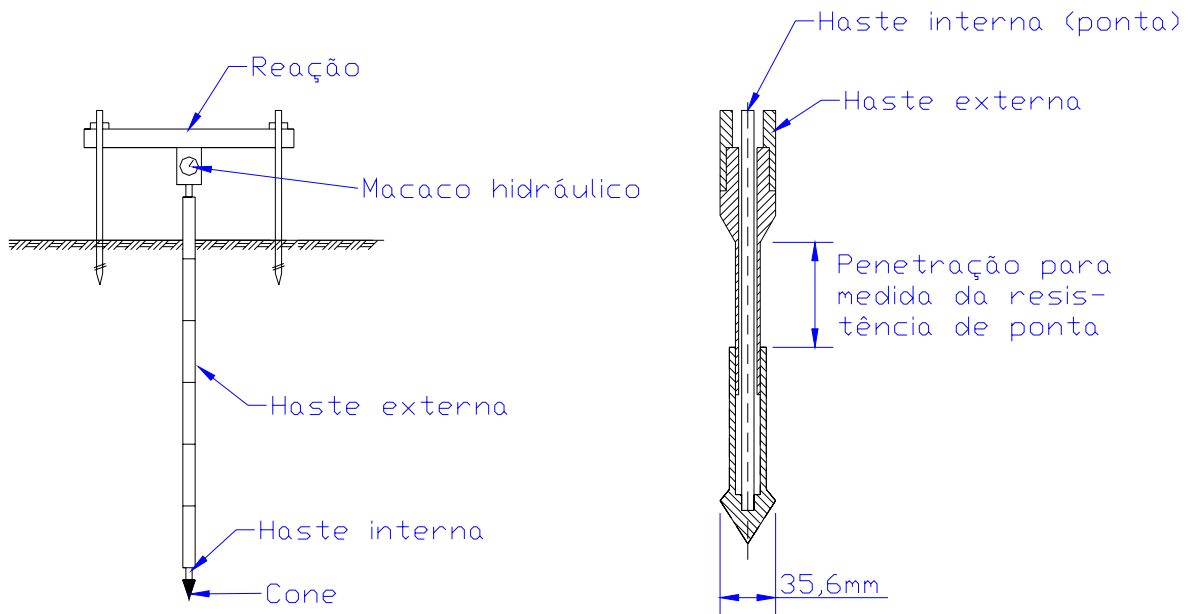


Figura 4. Esquema do cone mecânico Begemann (CPT)

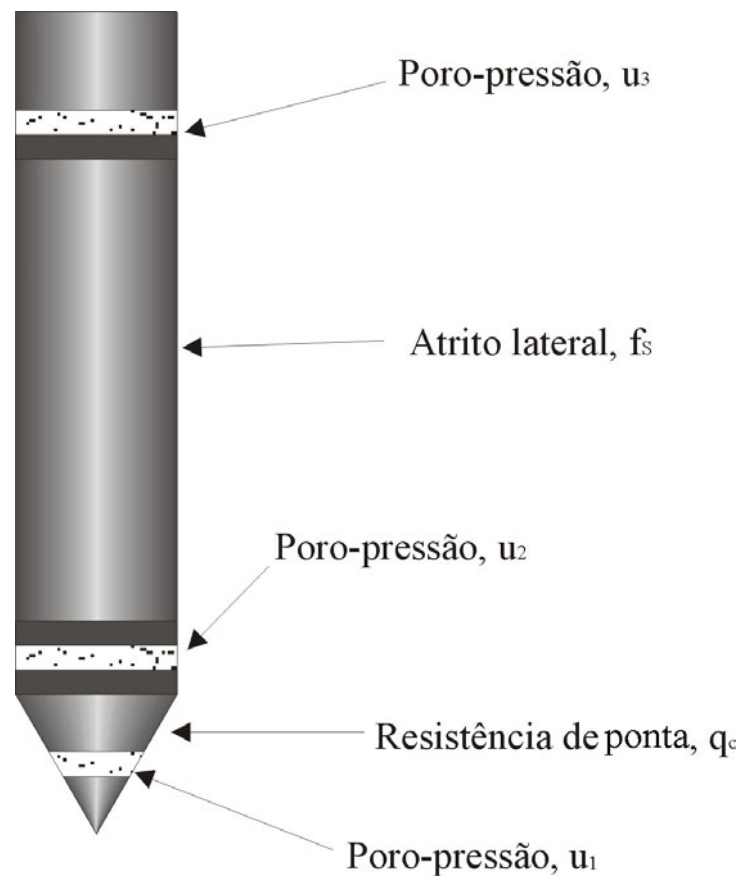


Figura 5. Esquema do cone elétrico com medida de poro pressões (CPTU)

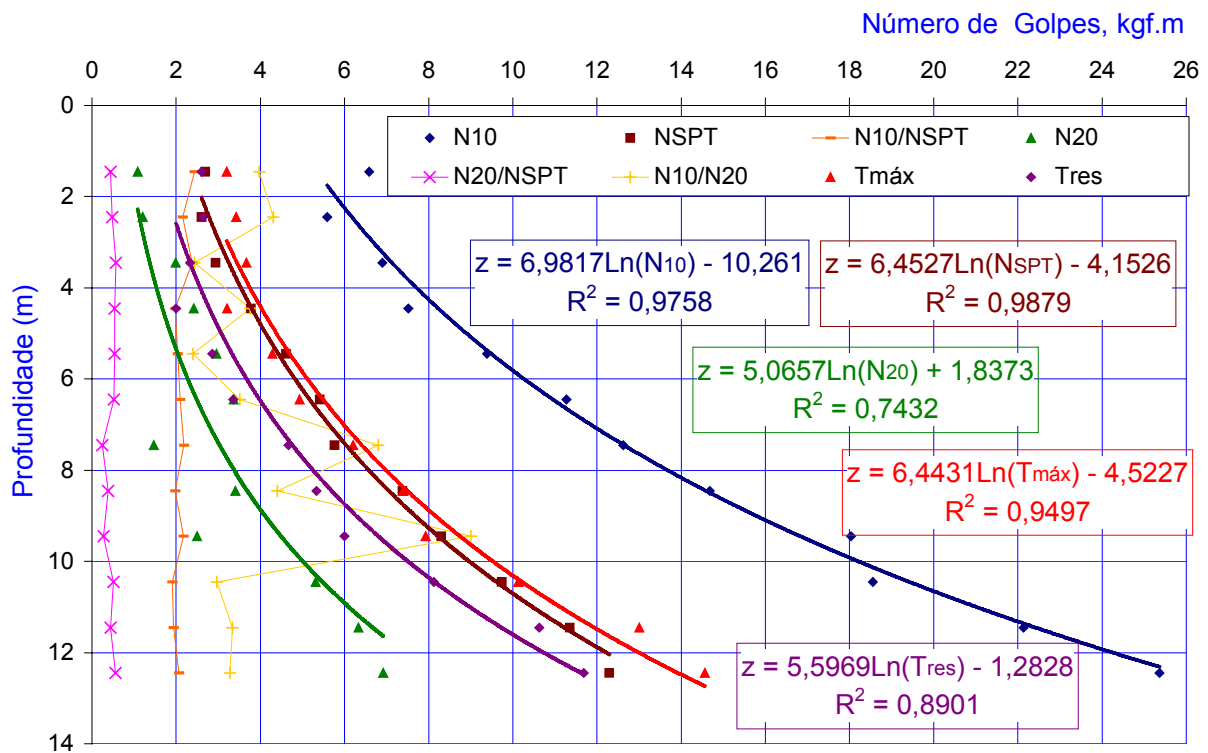


Figura 6. Valores médios de  $N_{SPT}$ ,  $N_{10}$  e  $N_{20}$  versus Profundidade.

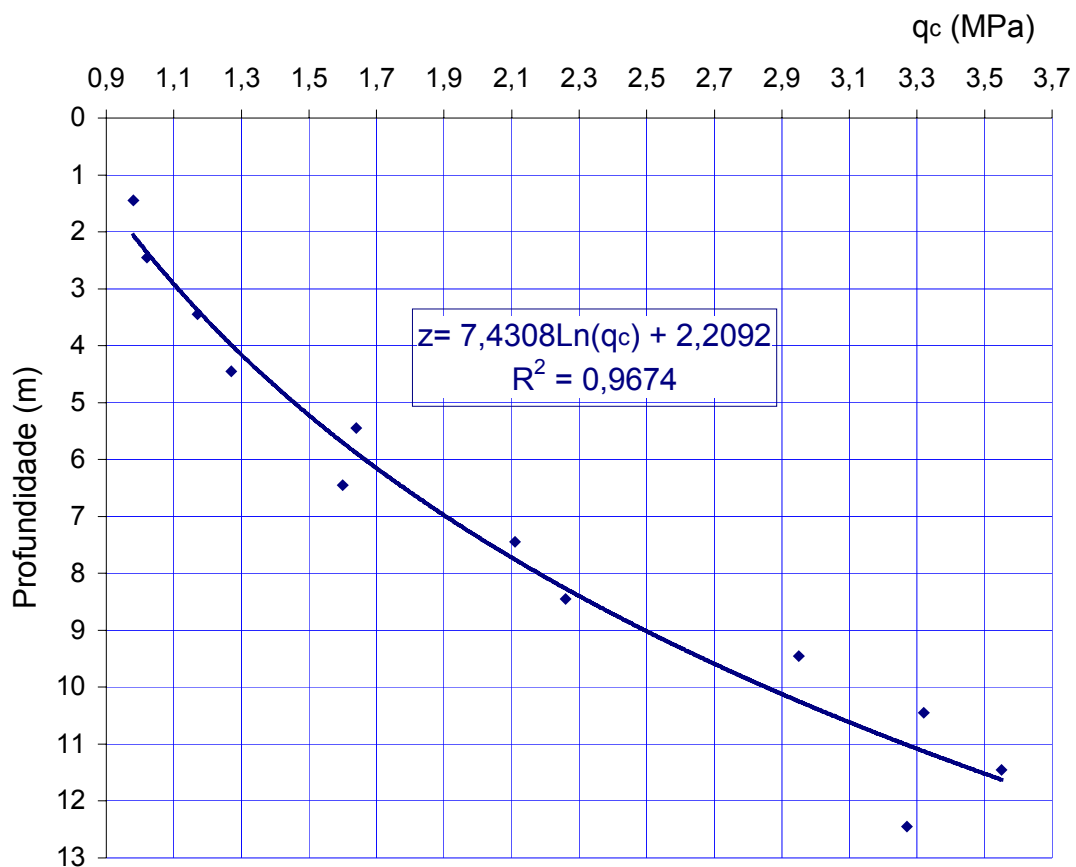


Figura 7. Valores médios de  $q_c$  versus Profundidade.

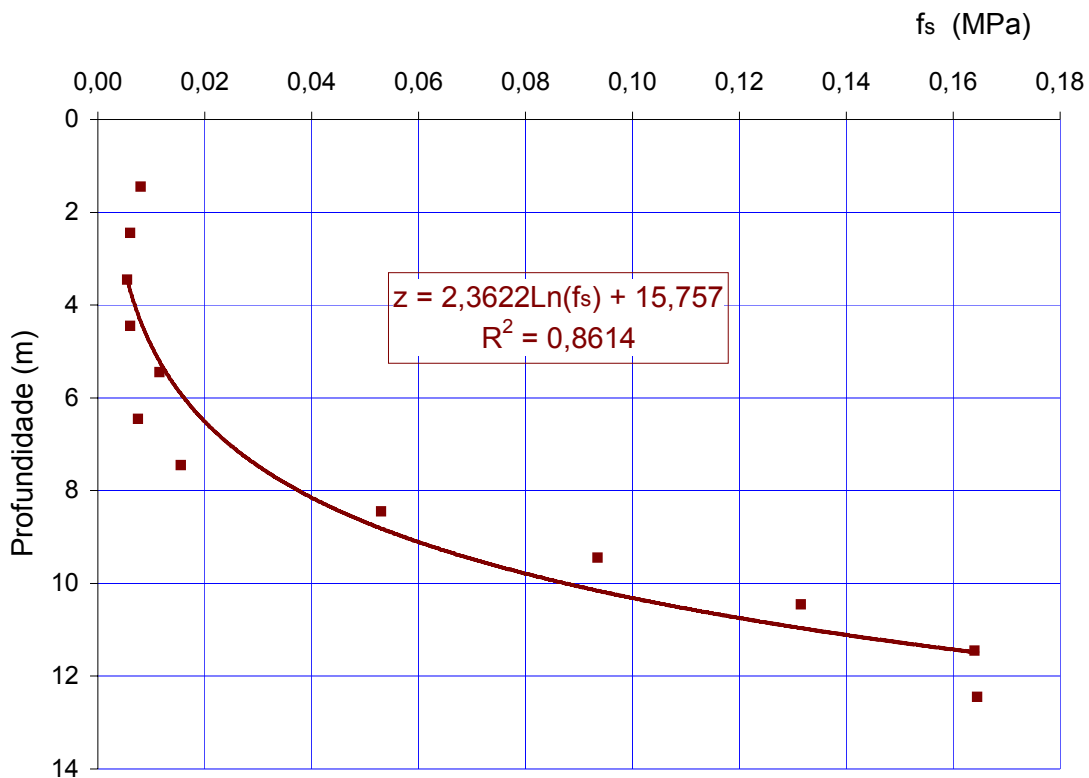


Figura 8. Valores médios de  $f_s$  versus Profundidade.

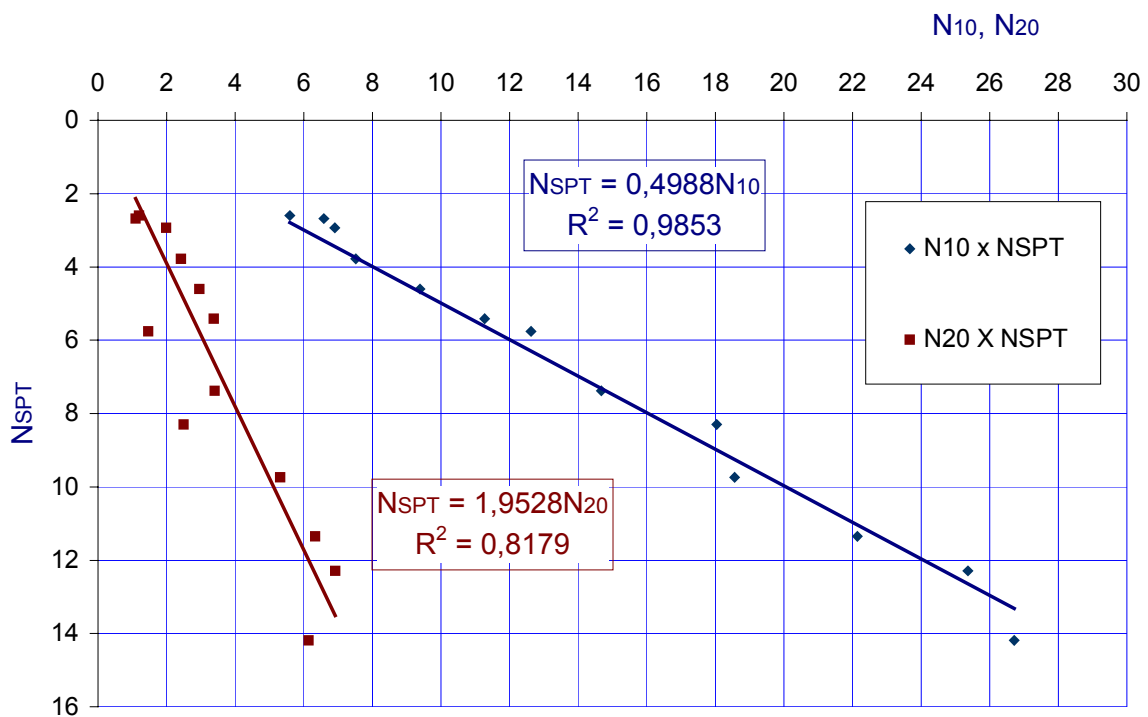


Figura 9. Valores médios de  $N_{10}$  e  $N_{20}$  versus  $N_{SPT}$ .

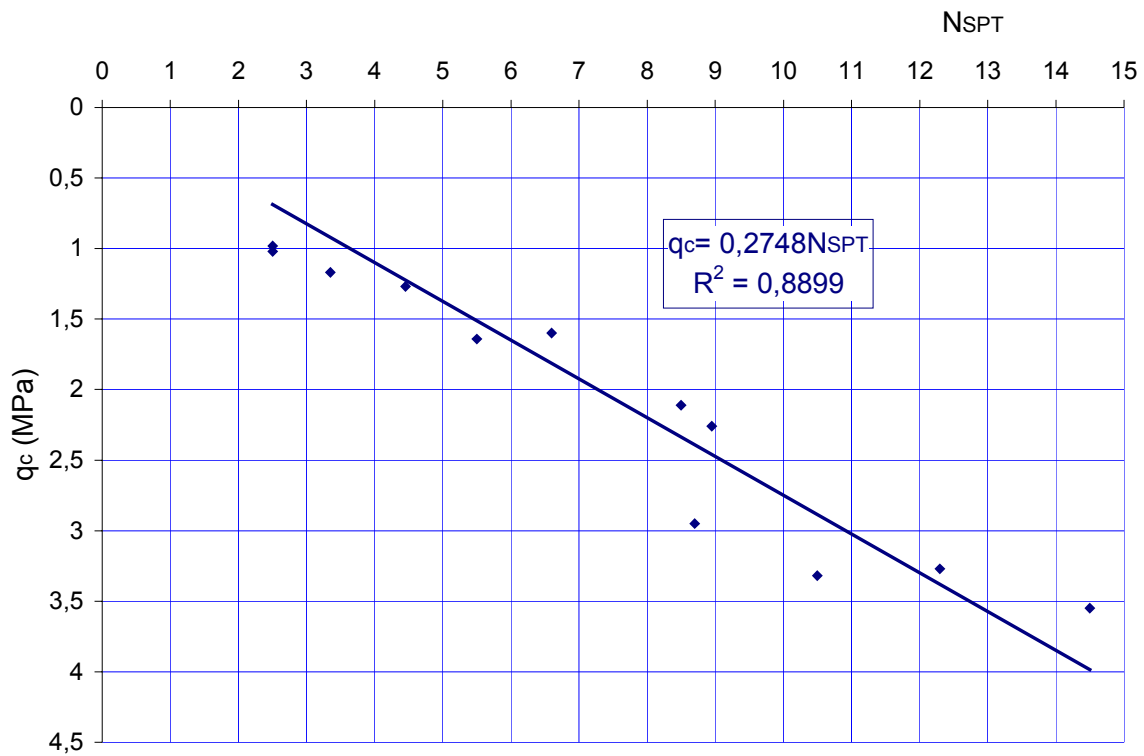


Figura 10. Valores médios de  $q_c$  versus  $N_{SPT}$ .

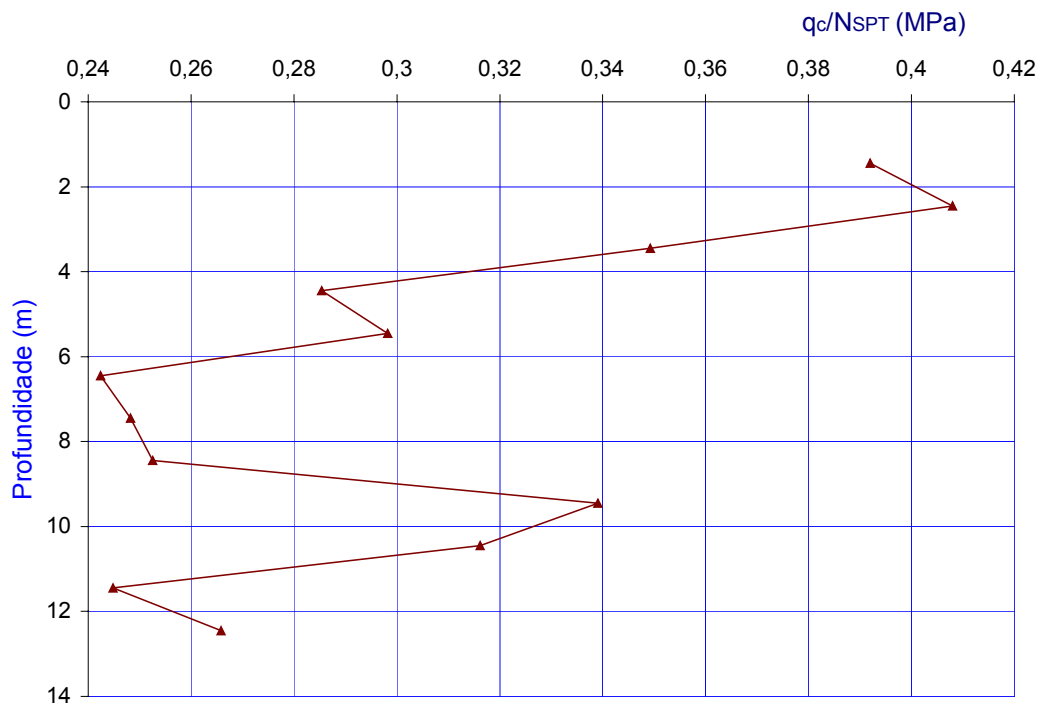


Figura 11. Valores médios de  $q_c/N_{SPT}$  (K) versus Profundidade.

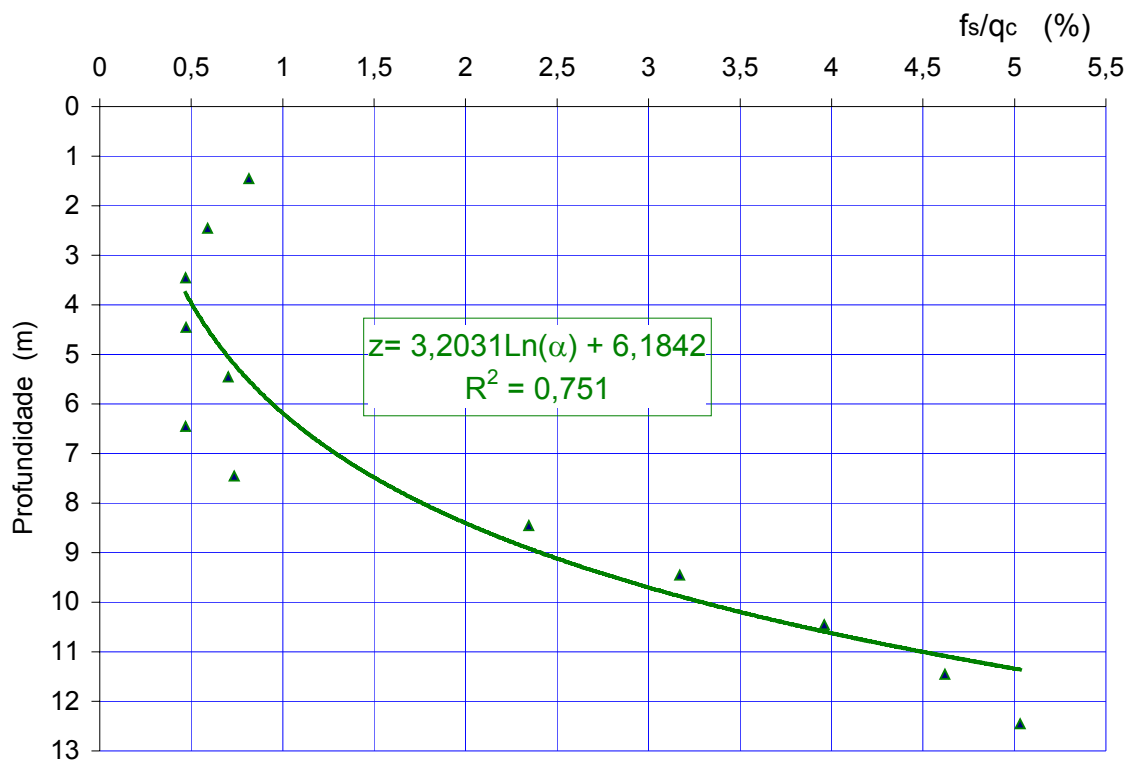


Figura 12. Valores médios de  $f_s/q_c$  versus Profundidade.

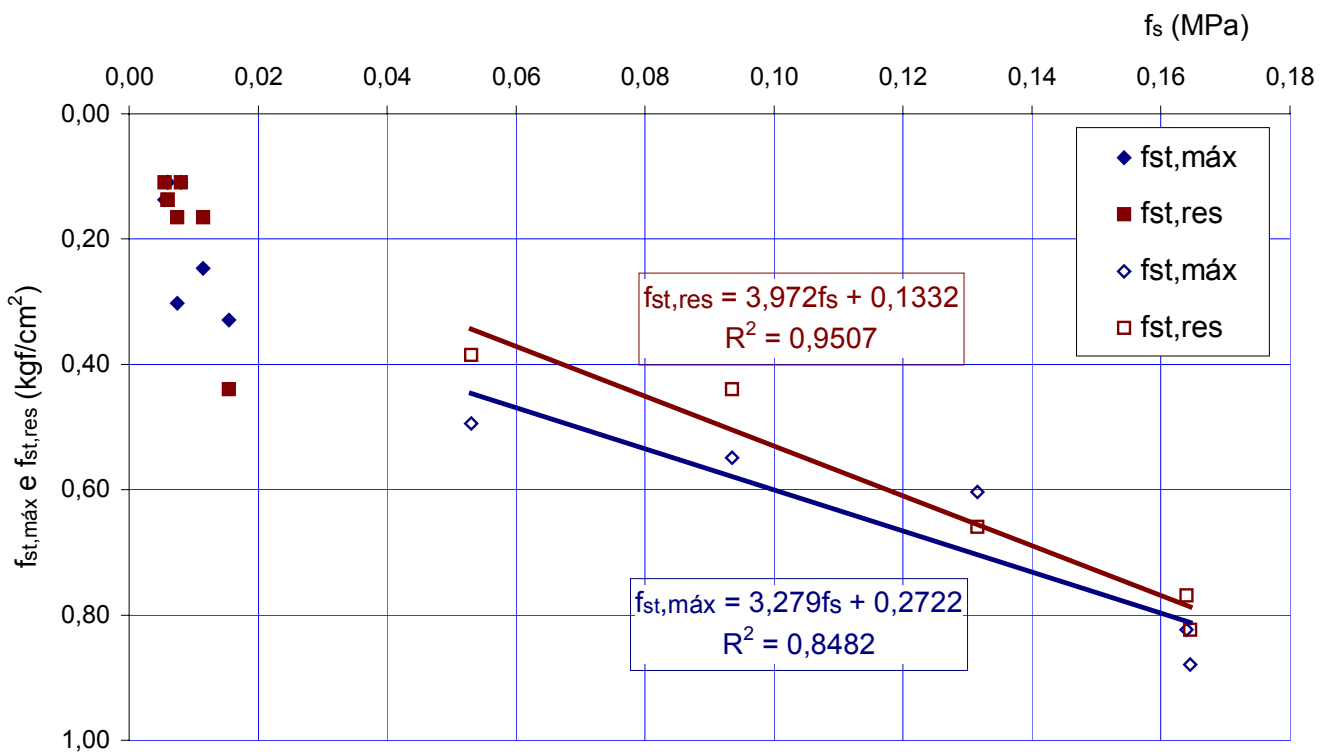


Figura 13. Valores médios de  $f_s$  versus