

Previsión del comportamiento de cimentaciones superficiales a partir del ensayo scpt en un suelo tropical arenoso de São Carlos-SP, Brasil

Tiago de Jesus Souza & Pablo César Trejo Noreña
USP-EESC, São Carlos, São Paulo, Brasil
Heraldo Luiz Giacheti
UNESP-FEB, Bauru, São Paulo, Brasil



RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar el comportamiento de cimentaciones superficiales apoyadas en suelo tropical arenoso a través de resultados de ensayos de cono sísmico (SCPT). El área de investigación fue el campo experimental de cimentaciones de la Universidad de São Paulo, São Carlos, Brasil. En esta área hay resultados de prueba de carga de placa realizadas en diferentes profundidades y resultados de ensayos SCPT. Los resultados indican que las previsiones realizadas mediante el ensayo SCPT después de la calibración de los parámetros del modelo empleado son adecuados, pues las curvas tensión-asiento son similares a las curvas obtenidas mediante la prueba de carga de placa principalmente para profundidades mayores de 1,5 metros. La principal contribución del trabajo es demostrar que el ensayo SCPT es aplicable para reproducir el comportamiento de una cimentación superficial en un suelo de comportamiento no convencional después de la calibración de los parámetros del modelo.

ABSTRACT

The objective of this paper is present the behavior of shallow foundations on sandy tropical soils based on test results of seismic cone (SCPT). The study area was the experimental research site from the University of São Paulo, São Carlos, Brazil. This area has plate load test performed at different depths as well as SCPT test data. The results indicate that the prediction using the SCPT test after calibrating the model parameters are adequate, because the stress-settlement curves are similar to the curves obtained by plate load test mainly to depths greater than 1.5 meters. The main contribution of this paper is to demonstrate that the SCPT test is applicable to reproduce the behavior of a shallow foundation in a soil with unconventional behavior after calibration of the model parameters.

1 INTRODUCCIÓN

En la investigación del subsuelo se busca evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo, así como la posición del nivel freático y la cota de la camada más resistente. Además, es necesario determinar los parámetros de diseño, tanto por método directo cuanto por método indirecto, utilizados en el diseño de cimentación con base en ensayos de campo y laboratorio. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar la aplicación del ensayo de cono sísmico (SCPT) para prever el comportamiento de cimentaciones superficiales en un suelo tropical arenoso.

Este ensayo permite obtener medidas de resistencia de penetración de la punta del cono y al mismo tiempo la determinación de parámetros de deformabilidad mediante la velocidad de propagación de ondas en el suelo. Por intermedio de estos ensayos es posible adoptar un abordaje más racional en el diseño de cimentaciones con menor grado de empirismo, tanto en la previsión de la capacidad de carga de cimentaciones utilizando q_c y el asiento, empleando el módulo de corte máximo (G_{max}) determinado en este ensayo.

El ensayo de cono sísmico (SCPT) es realizado similarmente al ensayo de penetración estática (CPT), con respecto al procedimiento de preparación y medidas de q_c y f_s . Con la instalación de sensores sísmicos (geófonos o acelerómetros) en el interior del cono, es posible determinar la llegada de una onda generada por el golpe de un martillo en una fuente sísmica situada en la superficie donde se está realizando el ensayo (Vitali, 2011). La determinación de la velocidad de propagación de las ondas puede ser realizada a cada parada de penetración del cono, tanto en el momento de penetración, así como en el momento de retirada de la punta. La realización del ensayo sísmico durante la retirada del cono presenta beneficios, cuando no se conoce previamente el perfil de suelo. Un conjunto de equipo de medición utilizado en el ensayo SCPT tiene un trigger, un martillo y un osciloscopio digital o sistema de adquisición de datos para almacenamiento de las señales. Detalles del equipo, procedimientos para la ejecución del ensayo y la interpretación de los resultados es detallada por Vitali (2011). Con la velocidad de propagación de la onda de corte (V_s) determinada mediante los registros de los ensayos sísmicos, el cálculo del módulo de corte máximo (G_{max}) de los suelos para cada profundidad es realizada a través de la siguiente ecuación de la teoría de elasticidad:

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Ensayo de Cono Sísmico (SCPT)

$$G_{\max} = \rho V_s^2 = \frac{\gamma}{g} V_s^2 \quad (1)$$

Donde, (ρ) es la masa específica, (γ) es el peso específico (γ) del suelo que puede ser determinado mediante ensayos de laboratorio o usando correlaciones con los resultados del ensayo CPT.

2.2 Comportamiento no lineal de los suelos

Aunque el suelo no sea un material elástico, ya que con la etapa de descargamento, las deformaciones son parcialmente reversibles, es común el empleo de la teoría de la elasticidad para la previsión de la curva tensión-deformación del suelo. La utilización de la teoría de elasticidad es justificada por ser razonable la hipótesis del comportamiento tensión-deformación lineal hasta las tensiones admisibles suficientemente alejadas de la rotura. Sin embargo, mejores resultados pueden ser obtenidos utilizando modelos no lineales. Según Mayne (2000) el comportamiento no lineal del suelo está en función del tipo de descargamento, la anisotropía del suelo, histórico de tensiones y principalmente del nivel de deformación. Según Campanella & Robertson (1986) esa relación puede ser establecida conociendo el módulo de corte máximo y la resistencia al corte del suelo. Estos parámetros pueden ser obtenidos a través de la realización de un ensayo híbrido como el SCPT. En este artículo será empleada una hipérbola modificada propuesta por Fahey y Carter (1993) para representar el comportamiento no lineal tensión-deformación de los suelos.

2.3 Propuesta de Fahey y Carter (1993)

La ecuación de la hipérbola modificada propuesta por Fahey & Carter (1993) para arenas es una manera de representar la degradación del módulo a bajas deformaciones (G_{\max}) con respecto a los valores de módulo de corte secantes correspondientes a los diferentes niveles de deformación. La expresión propuesta es:

$$\frac{G}{G_{\max}} = 1 - f \left(\frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^g \quad (2)$$

Donde f y g son parámetros de ajuste que controlan la no linealidad de la curva de tensión-deformación y G = módulo de corte = $E / [2(1 + \nu)]$ y ν es la relación de Poisson, que es asumida en función del tipo de suelo, para una hipérbola simple los parámetros de ajuste son $f=g=1$. Para el caso de un cargamento monotónico en suelos no estructurados y no cimentados los resultados de ensayos triaxiales y ensayos de corte directo llevaron a valores de $f = 1$ y $g = 0.3$ (Mayne, 1995).

Ealchim (2005) propone la determinación de los parámetros de ajuste f y g a través del cálculo de la deformación normalizada (X_L), dada por:

$$X_L = \frac{G_{\max}}{G_{\min}} \quad (3)$$

G_{\max} puede ser determinado mediante ensayos sísmicos in situ o laboratorio y G_{\min} es el valor del módulo secante al punto donde ocurre la tensión de corte máxima (τ_{\max}), que puede ser calculada mediante resultados de ensayos triaxiales. El G_{\min} obtenido de los ensayos triaxiales está relacionado aproximadamente al nivel de deformación cortante de 5 a 10%. A relación entre X_L con los parámetros de ajuste f y g dependen de la geometría del elemento de cimentación, ángulo de fricción, y de la condición de cargamento (drenada o no drenada).

Existen varios ábacos propuestos para representar esas relaciones (Elhakim, 2005). Usando el modelo hiperbólico propuesto por Fahey & Carter (1993), resultados de ensayos de corte directo en laboratorio muestran que la degradación de la rigidez es mayor en ensayos de cargamento monotónico. Este hecho es demostrado (figura 1) para las arenas de playa de Toyoura, ciudad de Yamagushi, Japón.

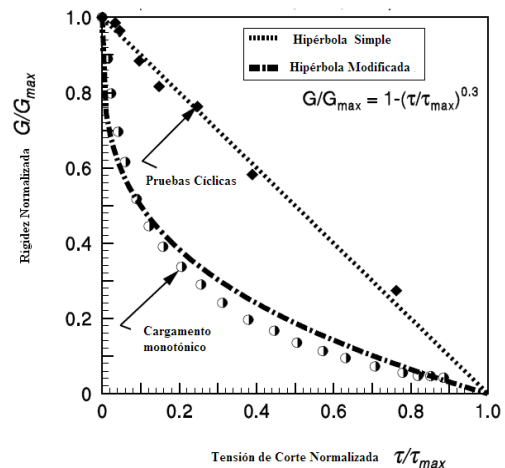


Figura 1. Representación de la curva de degradación para la arena de playa de Toyoura, Japón (Teachavorasinskun et al. 1991).

2.4 Propuesta de Mayne (2000)

La expresión para estimar el asiento inmediato de una cimentación directa es dada por la siguiente ecuación, proveniente de la teoría de elasticidad (Timoshenko & Goodier, 1951):

$$\delta = \frac{q \cdot B \cdot I}{E_s} \quad (4)$$

Donde:

δ = asiento;

q = Q/S = Tensión neta de la zapata o placa;

Q = fuerza axial;

S= área de apoyo de la zapata o placa;
 B= lado menor de la zapata o placa de sección rectangular o circular;
 I= factor de deformación influenciado por la teoría de elasticidad que lleva en consideración la profundidad de la camada impenetrable del suelo, rigidez de la cimentación y la relación de Poisson del suelo (Poulos & Davies, 1974);
 E_s= módulo de elasticidad del suelo;

Para considerar la no linealidad mediante el módulo de elasticidad a pequeñas deformaciones (E_{max}), obtenidos por ensayos sísmicos se utiliza la hipérbola modificada de Fahey & Carter (1993), cuya ecuación es mostrada a continuación:

$$E_s = E_{\max} \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_{ult}} \right)^g \right] \quad (5)$$

De acuerdo Mayne (2000) a través de la teoría de elasticidad y del modelo no lineal propuesto por Fahey & Carter (1993), para asentamientos en zapatas, se presenta la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{Q \cdot I}{B \cdot E_{\max} \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_{ult}} \right)^{0.3} \right]} \quad (6)$$

Una gran cantidad de número de soluciones analíticas y numéricas está disponible para el cálculo del factor de influencia de deformación de cimentaciones superficiales. Poulos & Davis (1974) sugieren varias soluciones para calcular los factores de influencia del desplazamiento de elementos de cimentaciones de varias formas (circular, cuadrada, rectangular), distribución de carga (uniforme, parabólica, triangular), rugosidad de la cimentación, relación de Poisson, homogeneidad del suelo (módulo de suelo constante o variable con la profundidad), profundidad de la camada incompresible, multicamadas, condiciones de drenaje y rigidez de la cimentación, y otras variables, conforme es descrito por Perloff & Baron (1976) *apud* Cintra et al. (2003).

Muchos autores trabajaron en el desarrollo de métodos para estimar la carga de ruptura partiendo de la hipótesis un poco diferente de las de Terzaghi y a veces tratando de casos específicos como la propuesta de Meyerhof (1976). Este autor determina la carga de ruptura mediante el resultado de la resistencia de punta del cono (q_c). En este trabajo, se adopto este método porque utiliza de manera directa los resultados del CPT.

3 ÁREA ESTUDIADA

3.1 Caracterización geológica-geotécnica

El suelo del campo experimental de São Carlos es una arena fina a media arcillosa, porosa y colapsable hasta cerca de 6 a 7 m de profundidad, seguida por una camada de suelo residual del Arenisca - Grupo Bauru.

Una capa de gravas divide esas dos camadas. La figura 2 muestra resultados de ensayos SPT, que permite una visualización del perfil geotécnico presente en el campo experimental.

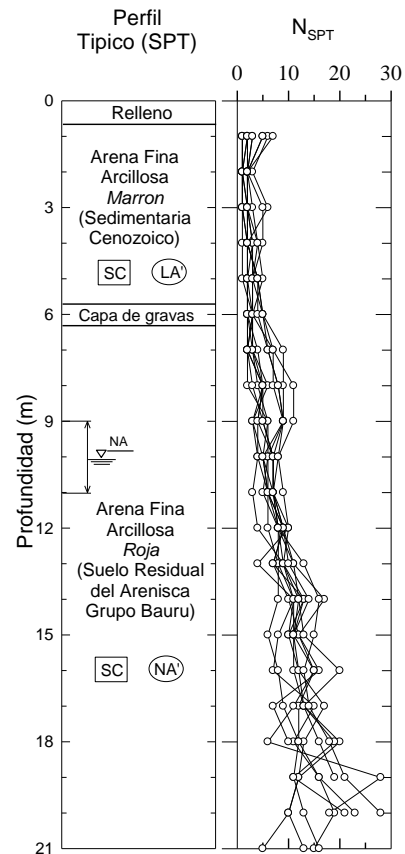


Figura 2. Perfil típico y resultado de sondeo SPT realizado en el campo experimental de São Carlos (Giacheti, 2001).

Diversos ensayos de laboratorio fueron realizados, siendo posible caracterizar los suelos que se presentan en este campo experimental. La figura 3 muestra la curva granulométrica de muestras de suelo recogidas en el campo experimental São Carlos y la tabla 1 muestra los valores medios de índices físicos de las muestras indeformadas de suelos recolectados a lo largo del perfil.

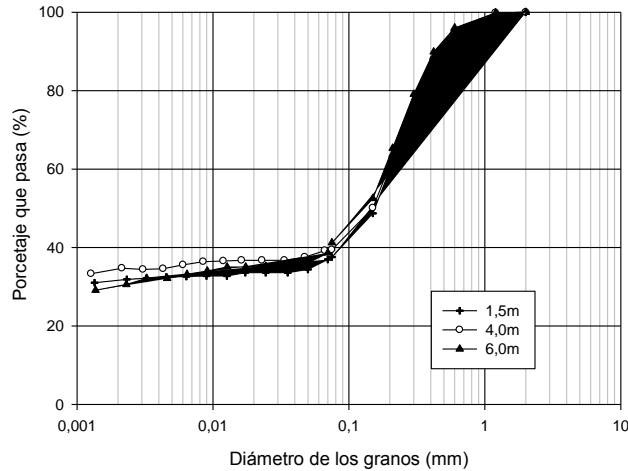


Figura 3. Curvas granulométricas para suelos del campo experimental de São Carlos.

Tabla 1. Índices físicos para los suelos del campo experimental de São Carlos (Giacheti, 2001).

Profundidad (m)	São Carlos			
	γ (kN/m ³)	w (%)	e	Sr (%)
1	14,2	13,7	1,174	38,3
2	15,6	14,6	0,993	52,3
3	16,0	15,8	0,965	58,4
4	16,7	16,8	0,943	70,2
5	14,8	16,4	0,882	60,3

3.2 Ensayos de Campo

Los resultados de los ensayos de carga de placa con diámetro de 0,8 m, evaluados a diferentes niveles de succión, realizados en el campo experimental de São Carlos son utilizados dentro del proyecto de investigación que incluye trabajos de Costa (1999), Macacari (2001) y Menegotto (2004), con el fin de comparar la curva tensión-asiento del ensayo con el modelo propuesto por Mayne (2000). En total 21 pruebas de carga de placa fueron realizadas, el modo de cargamento de estas pruebas son cinco ensayos de tipo lento (SML), doce de tipo rápido (QML) y cuatro de tipo mixto (MML).

Un esquema de localización de las pruebas de carga en el campo experimental es presentado en la Figura 4.

Dos ensayos downhole (DH1 y DH2) fueron ejecutados con el sistema desarrollado por Vitali (2011), un cono sísmico (SCPT3) y tres ensayos CPT (CPT1, CPT2 y CPT3). Además, se disponen de resultados de dos ensayos crosshole (CH1 y CH2) y de dos ensayos SCPT (SCPT7 y SCPT4) previamente realizados por De Mio (2005). La figura 4 muestra la localización de los ensayos.

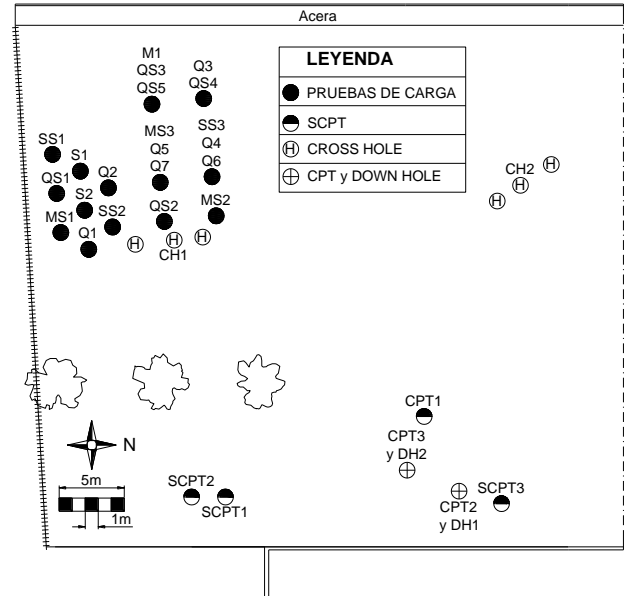


Figura 4. Localización de las pruebas de carga de placa y localización de los ensayos crosshole, downhole y CPT realizados en el campo experimental de São Carlos (Vitali, 2011).

Para la determinación de la succión matricial promedio del suelo debajo de la placa, en los ensayos no inundados fueron instalados tensiómetros en el suelo en el fondo de las excavaciones a las profundidades de 0,1 m, 0,3 m, 0,6 m e 0,8 m debajo de la cota de asentamiento de la placa. La mayor profundidad de instalación de los tensiómetros corresponde al diámetro de la placa. Once de esos ensayos fueron ejecutados bajo inundación por un periodo mínimo de 4 horas, utilizando agua potable proveniente de la red pública. En relación al modo de cargamento aplicado durante las pruebas de carga fueron realizados cinco de tipo lento (SML), doce de tipo rápido (QML) y cuatro de tipo mixto (MML). La tabla 2 muestra las principales características de cada ensayo, así como su designación. Mas detalles sobre los ensayos de placa, así como también los equipos y materiales utilizados en el campo experimental da EESC/USP pueden ser consultadas en Menegotto (2004). Debido a la dificultad de obtener los valores de succión que actúan en el perfil del suelo durante la época que fueron realizados los ensayos SCPT y teniendo presente que la succión es variable en el campo experimental durante todo el año. Este efecto é causado por las variaciones climáticas estacionales, así como diarias. Entonces se entiende que es necesario cuantificar la influencia de la succión para bajas deformaciones y evaluar de qué manera este parámetro influencia en los valores de G_{max} , de τ_{max} , y así poder obtener un mejor entendimiento de la curva tensión-asiento de los suelos tropicales. Estos procedimientos no son de uso corriente en la práctica de ingeniería así como también en la investigación de suelos no saturados mas hace parte de pesquisas futuras de los autores de este artículo.

4 RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Ajuste de los parámetros f y g

Cuando el modelo de Mayne (2000) fue creado, los parámetros de ajuste sugeridos para suelos arenosos no estructurados y no cimentados fueron $f=1$ y $g=0,3$ (Mayne, 1995). En 2005, Ealkim propone un índice que denominó deformación normalizada (X_L), que permite determinar los parámetros de ajuste de este modelo, conforme fue presentado en el ítem 2.3 de este artículo.

Estos parámetros tienen influencia significativa en la degradación del módulo. Para el cálculo de la deformación normalizada (X_L) se adoptó el G_{max} medio obtenido en los ensayos SCPT y los valores de G_{min} fueron calculados mediante los resultados de ensayos triaxiales con succión controlada para las profundidades de 2.5 y 8m en muestras indeformadas colectadas en el campo experimental de São Carlos, realizados por Machado (1998). La relación de Poisson fue asumido igual a 0,3. Para ese suelo se obtuvieron valores medios para f y g respectivamente iguales a 0,99 y 0,03.

Tabla 2. Características de las pruebas de carga en placa con diámetro de 0,8 m (Menegotto, 2004).

Informaciones del Ensayo de Placa			
Profundidad	Ensayo	Modalidad	Succión
			(kPa)
1,5	SS1	Lento Inundado	0
1,5	SS2	Lento Inundado	0
1,5	SS3	Lento Inundado	0
1,5	S1	Lento	10
1,5	S2	Lento	31
1,5	QS1	Rápido Inundado	0
1,5	QS2	Rápido Inundado	0
1,5	Q1	Rápido	15
1,5	Q2	Rápido	22
1,5	Q3	Rápido	33
1,5	MS1	Mixto Inundado	0
1,5	MS2	Mixto Inundado	0
1,5	MS3	Mixto Inundado	0
1,5	M1	Mixto	28
4,0	QS3	Rápido Inundado	0
4,0	Q4	Rápido	18
4,0	Q5	Rápido	28
6,0	QS4	Rápido Inundado	0
6,0	QS5	Rápido	0
6,0	Q6	Rápido	12
6,0	Q7	Rápido	15

Con el fin de evaluar la representación de la degradación del módulo en el suelo que ocurre en el campo experimental de la EESC/USP, se trazo en la figura 5 las curvas $E/E_{max} \times q/q_{ult}$ para la profundidad de 4,0 m, con diferentes valores de g. En la figura 5 se observa una brusca reducción de la rigidez para un pequeño nivel de deformación, representado por el bajo valor del parámetro g. Esta reducción ocurre también para las profundidades de 1,5 y 6,0m.

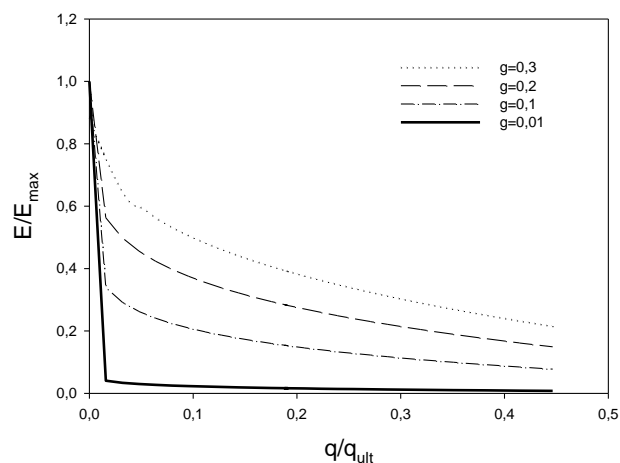


Figura 5. Representación de la degradación del módulo para diferentes valores del parámetro g.

El bajo valor del parámetro g se atribuye a la elevada rigidez y a la baja amplitud de deformación representada por G_{max} que sufre una degradación intensa para el poco nivel de deformación conforme es discutido por Giacheti (2001).

4.2 Previsión de la curva tensión-asiento

En la Figura 6 están representados los resultados de los ensayos CPT y SCPT utilizados en la previsión de la curva tensión-asiento. Los resultados de ensayos crosshole realizados en el área que están aquí representados muestran que los valores de G_{max} determinados por las dos técnicas (crosshole y SCPT) están en el mismo orden de grandeza. Según Vitali (2011) detalla las diferencias observadas en ensayos SCPT y crosshole para la determinación de la velocidad de propagación de ondas de corte para ese mismo local. Los resultados de los ensayos presentados en la figura 7 indican la gran variabilidad en los valores de resistencia de punta del cono (q_c) hasta 2m de profundidad, que disminuye a partir de esta profundidad.

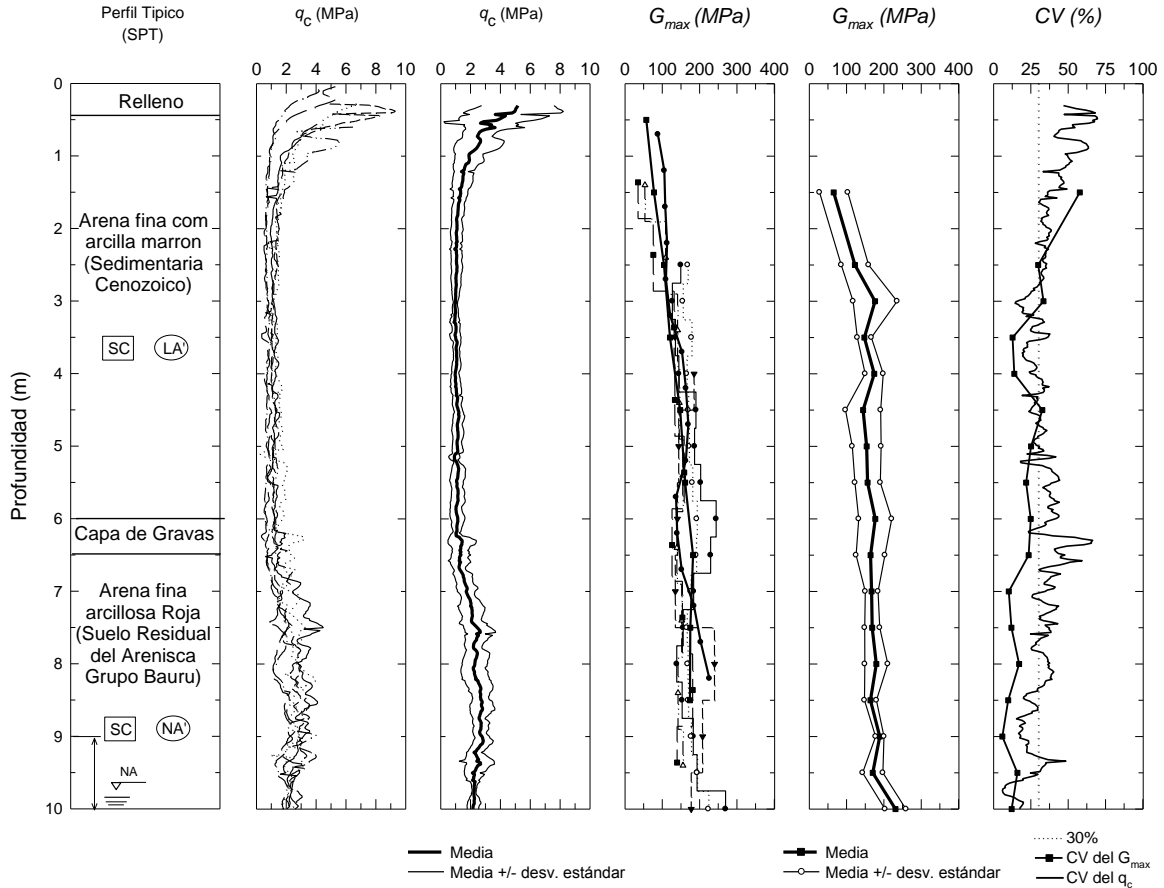


Figura 6. Dispersión de los valores de q_c y G_{max} en ensayos SCPT y Crosshole a lo largo de la profundidad y así como la variación de valores médios, media+desviación estándar, media-desviación estándar y coeficiente de variación para el campo experimental de São Carlos.

También se observa una grande variabilidad en los valores de G_{max} , que se intensifica cercanamente a la capa de gravas, debido a una probable reflexión de ondas, que afecta la interpretación de los ensayos SCPT. Para tener un mejor entendimiento de la variabilidad del suelo que ocurre en el campo experimental de São Carlos, y por la ejecución de varios ensayos SCPT y crosshole realizados en diferentes épocas del año dentro del área de estudio, se representa la curva de variación con la profundidad de q_c y G_{max} incluyendo en esa figura las curvas de valores medios, media más la desviación estándar, media menos la desviación estándar y coeficiente de variación (CV). En la figura 6 se observa que en la profundidad de 1,5 m existe una variación de G_{max} de 58%, y en q_c es de 40%. Para las profundidades de 4,0 y 6,0 m se observa que existe una dispersión un poco menor en relación al promedio, tanto para la resistencia en la punta como para el módulo de corte máximo.

La variación en el módulo de corte máximo (G_{max}) hasta la profundidad de 1,5 m puede estar asociada a la variación en la compactación de la camada superficial del suelo, en su composición, variación de la succión matricial y así como en la interferencia de las ondas de superficie en la interpretación de los valores de V_s .

Para considerar la variabilidad de los parámetros de la previsión de la curva tensión-asiento, se asume los valores medios con sus respectivas desviaciones estándar, tanto para el módulo de corte máximo como para la resistencia de punta, con el fin de realizar la previsión de la curva tensión-asiento que presente un comportamiento similar a las curvas obtenidas en la prueba de carga, con diferentes succiones, conforme muestra las figuras 7, 8 y 9. Para las tres profundidades analizadas se encontró que el formato de la curva obtenida con el método de Mayne (2000) es similar al obtenido en la prueba de carga y está dentro de la faja de variación de diversos ensayos realizados. El factor de influencia fue asumido para el valor de 0.79 debido que se trata de una placa rígida con sección circular (Perloff & Baron, 1976 *apud* Cintra et al, 2003).

Los resultados de las pruebas de carga de placa con diferentes niveles de succión y la previsión de la curva tensión-asiento obtenida a través de los ensayos SCPT fueron comparados y se constata que en la profundidad de 1,5 m las curvas previstas no están totalmente dentro de las fajas de valores de las curvas obtenidas en las pruebas de carga de placa (figura 7).

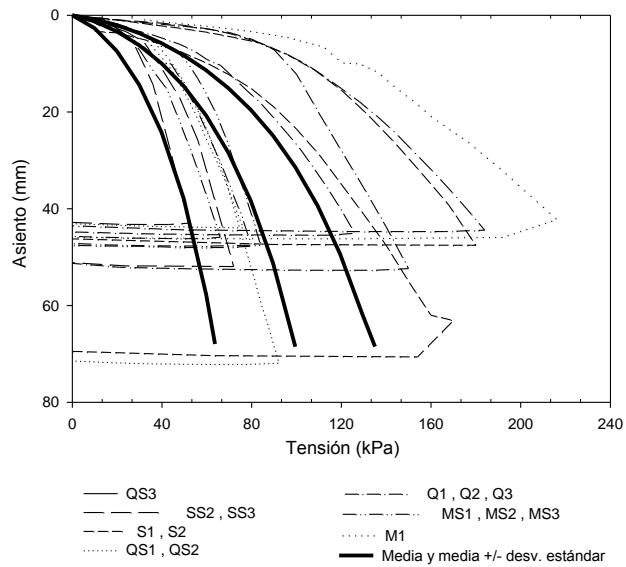


Figura 7. Previsión del comportamiento de cimentaciones directas utilizando el ensayo SCPT, y resultados de las pruebas de carga de placa para la profundidad de 1,5m.

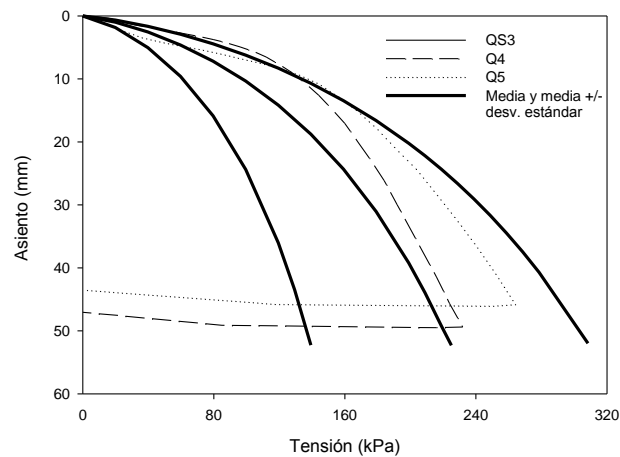


Figura 8. Previsión del comportamiento de cimentaciones directas utilizando el ensayo SCPT, y resultados de las pruebas de carga de placa para la profundidad de 4,0m.

Una posible justificativa es que en ensayos sísmicos downhole, que es la técnica empleada para la determinación de la velocidad de propagación de ondas S que permite el cálculo de G_{max} , la adquisición de señal para determinar esa velocidad no es muy buena porque existe interferencias causadas por la onda de superficie como describe Vitali (2011). Además, otras variables como la compactación del suelo superficial, el resecamiento y succión matricial tienen influencia en los resultados como describe Souza (2011). Por lo tanto, la aplicación de este método para estimar la carga de rotura y del asiento en capas cercanas a la superficie

puede ser perjudicada. Para profundidades de 4m y 6m existe una buena relación entre las curvas medidas y previstas (figuras 8 y 9) que demuestran la aplicación de la propuesta de Mayne (2000), después de la calibración de los parámetros f y g , tanto para un suelo de comportamiento no convencional.

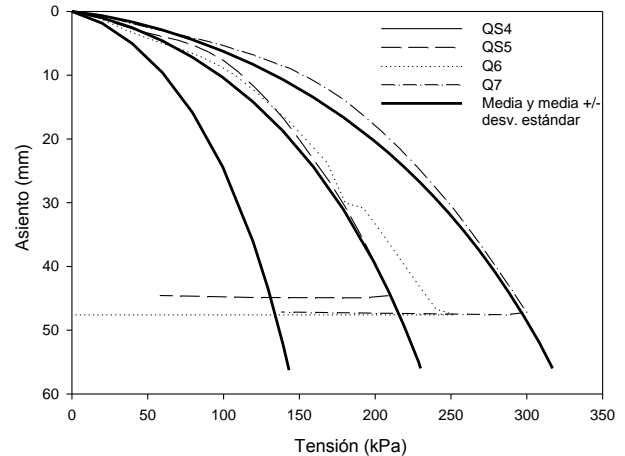


Figura 9. Previsión del comportamiento de cimentaciones directas utilizando el ensayo SCPT, y resultados de las pruebas de carga de placa para la profundidad de 6,0m.

5 CONCLUSIÓN

En este artículo se presentó la aplicación de un método para la predicción de la curva tensión-asiento con base en resultados de ensayos SCPT del campo experimental de São Carlos. Por la peculiaridad del comportamiento de suelos tropicales fue necesario definir nuevos parámetros de ajuste para el modelo de Mayne (2000) a partir de los resultados de ensayos sísmicos y ensayos triaxiales. Entonces, los nuevos parámetros de ajuste determinados para el modelo fueron $f=0,99$ y $g=0,03$. El bajo valor del parámetro g se atribuye al efecto de la cimentación y de la succión matricial en la rigidez de los suelos arenosos lateríticos presentes en el campo experimental estudiado. Estos suelos presentan elevada rigidez para una baja amplitud de deformación, representada por G_{max} , entre tanto su degradación es intensa y rápida. El grande número de resultados de los ensayos indica variabilidad en los valores de la resistencia de punta del cono (q_c), muy intensa hasta 2m de profundidad, que también se intensifica cerca de la capa de gravas, debido a una probable reflexión de ondas que afecta la interpretación de los ensayos SCPT.

Las predicciones de las curvas tensión-asiento fueron representadas para incorporación de los valores medios y medios más o menos las desviaciones estándar en las tres profundidades estudiadas, de modo que se tome en cuenta la variabilidad en la predicción de la curva tensión-asiento. Los resultados muestran que todas las predicciones en términos de media y desviación están dentro de la faja de las pruebas de carga para diferentes succiones matriciales.

Es importante resaltar que las previsiones fueron mejores para la profundidad de 4,0 y 6,0 m. Para la profundidad de 1,5m, Menegoto (2004) muestra una gran variación debido al efecto de la succión. Como conclusión, el método de Mayne (2000) para la previsión de la curva tensión-asiento es basado en los resultados de ensayos de cono sísmico llevo a resultados similares a los obtenidos en las pruebas de carga.

AGRADECIMIENTOS

Los autores dedican sus agradecimientos a las agencias de investigación FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) y CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por el apoyo financiero de sus trabajos de investigación.

REFERENCIAS

- Campanella, R.G., Robertson, P.K. (1986). Current status of the piezocone test. First International Symposium on Penetration Testing, p.1-24.
- Cintra, J.C.A; Aoki, N; Albiero, J.H.A. (2003). Tensão admissível em fundações diretas. São Carlos/SP: RIMA.
- Costa, Y.D.J. (1999). Estudo do Comportamento de solo não saturado através de provas de carga e placa. Dissertação mestrado, EESC-USP, São Carlos-SP.
- Ealkim, A.F. (2005). Evaluation of Shallow Foundation Displacements using soil Small-Strain Stiffness. PHD Dissertation Georgia Tech, Atlanta, USA.
- Fahey, M.; Carter, J.P. (1993). A finite element study of the pressuremeter test in sand using a nonlinear elastic plastic model. Canadian Geotech. Journal, 30(2), 348-362.
- Giacheti, H.L. (2001). Os ensaios de campo na investigação do subsolo: Estudos e considerações quanto à aplicação em solos tropicais. Tese de Livre docência, FEB-UNESP. Bauru/SP.
- Giacheti, H.L.; Peixoto, A.S.P.; Mondelli, G.(2004). Comparação entre resultados de ensaios de penetração com os cones mecânico e elétrico em solos tropicais. Solos e Rochas, São Paulo, v.27, n.2, p. 191-200.
- Macacari, M.F. (2001). Variação da capacidade de carga com a sucção e profundidade em ensaios de placa em solos colapsível. Dissertação Mestrado, EESC-USP, São Carlos-SP.
- Machado, S.L. (1998). Aplicações de conceitos de elastoplasticidade a solos não saturados, Tese Doutorado, EESC-USP, São Carlos-SP.
- Mayne, P.W. (1995). Application of G/Gmax modulus degradation to foundation settlement analyses. U.S.-Taiwan Workshop on Geotechnical Collaboration, Washington/Taipei, 136-148.
- Mayne, P.W. (2000). Enhanced geotechnical site characterization by seismic piezocone penetration tests. I 4th International Geotechnical Conference. p. 95-120.
- Menegotto, M.L. (2004). Previsão da curva tensão x recalque de ensaios de placa em solo não saturado. Tese de Doutorado, EESC-USP, São Carlos-SP.
- Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, 102(GT3), pp 195-228.
- Perloff, W.H.; Baron, W.(1976). Soil mechanics: Principles and applications. New York: Jonh Wiley and Sons Co.745p.
- Poulos, H.G.; Davis, E.H. (1974). Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics, Wiley & Sons, New York, 411 p. (available from University of Sydney Press, 1994).
- Souza, T.J. (2011). Previsão da curva tensão-recalque em solos tropicais a partir de ensaios de cone sísmico. Dissertação mestrado, EESC/USP. São Carlos-SP.
- Teachavorasinskun, S; Shibuya, S; Tatsuoka, F. (1991). Stiffness of sands in monotonic & cyclic torsional simple shear. Geotechnical Engineering Congress, Vol. II (Boulder), GSP No. 27, ASCE, New York, 863-878.
- Timoshenko, S; Goodier, J.N.(1951). Theory of Elasticity. McGraw-Hill, New York (USA).
- Vitali, O.P.M. (2011). Desenvolvimento de um sistema para realização de ensaios sísmicos Down-Hole em conjunto com o CPT. Dissertação de mestrado, EESC/USP, São Carlos-SP, Brasil.