

Correlações entre SPT e CPT para alguns solos tropicais

Breno Padovezi Rocha

Professor, Universidade Estadual Paulista – Departamento de Engenharia Civil, Ilha Solteira, Brasil,
breno.rocha@unesp.br

Luis Pedro Rojas Herrera

Mestre, Universidade Estadual Paulista – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Bauru, Brasil,
luis.rojas@unesp.br

Heraldo Luiz Giacheti

Professor, Universidade Estadual Paulista – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Bauru, Brasil,
h.giacheti@unesp.br

RESUMO: A investigação do subsolo normalmente é realizada por meio de ensaios de campo, com o intuito de se definir o perfil do subsolo, a posição do nível d'água e os parâmetros de projeto das camadas de interesse. As sondagens de simples reconhecimento com medida de SPT (SPT) e ensaios de penetração do cone (CPT) são técnicas amplamente empregadas, e ambas fornecem uma medida de resistência à penetração. É desejável, neste sentido, correlacionar medidas de N_{SPT} e q_c , de forma a possibilitar a transposição de experiências entre os dois ensaios de campo, bem como a sua aplicação em métodos de projeto, como a estimativa da capacidade de carga e de recalques em fundações. Deste modo, este artigo apresenta valores da relação q_c/N_{SPT} e propõe ajustes nas correlações baseadas no índice de classificação do solo (I_c) para os solos tropicais estudados, bem como faz a comparação com os valores propostos na literatura internacional. Ensaios CPT e SPT, bem como de classificação granulométrica previamente realizados nos campos experimentais da Unesp-Ilha Solteira/SP, Unesp-Bauru/SP, USP-São Carlos/SP, UNICAMP-Campinas/SP, UnB-Brasília/BR, UEL-Londrina/PR, UEM-Maringá/PR, e UFSM-Santa Maria/RS serão utilizados na definição do coeficiente $k = q_c/N_{SPT}$ e na avaliação de sua variação com o tamanho médio das partículas (D_{50}). Observou-se uma diminuição do coeficiente k com a diminuição de D_{50} . As correlações propostas fornecem informações adicionais para a elaboração de correlações futuras entre os ensaios SPT e CPT, bem como para a estimativa de outros parâmetros geotécnicos e/ou aplicações em projeto.

PALAVRAS-CHAVE: SPT, CPT, diâmetro médio das partículas, q_c/N_{SPT} , correlação.

ABSTRACT: Site investigation is typically conducted through in situ testing to define the soil profile, groundwater table, and design parameters of the layer of interest. Standard penetration tests (SPT) and cone penetration tests (CPT) are widely used techniques, and both provide a measure of penetration resistance. It is desirable to correlate N_{SPT} and q_c measurements to enable the transfer of experience between the two in situ tests, as well as their application in design methods, such as the estimation of bearing capacity and settlement in foundations. This paper presents values for the q_c/N_{SPT} ratio and proposes adjustments to the correlations based on the soil classification index (I_c) for the tropical soils studied, as well as making a comparison with the values proposed in international literature. CPT and SPT tests, as well as particle size classification, previously carried out in the experimental research sites of Unesp-Ilha Solteira/SP, Unesp-Bauru/SP, USP-São Carlos/SP, UNICAMP-Campinas/SP, UnB-Brasília/BR, UEL-Londrina/PR, UEM-Maringá/PR and UFSM-Santa Maria/RS, will be used to define the coefficient $k = q_c/N_{SPT}$ and to evaluate its variation with the median particle size (D_{50}). A decrease in the q_c/N_{SPT} ratio was observed with a decrease in D_{50} . The proposed correlations provide additional information for establishing future correlations between SPT and CPT tests, as well as for estimating other geotechnical parameters and/or design applications.

KEYWORDS: SPT, CPT, median particle size, q_c/N_{SPT} , correlation.



1 INTRODUÇÃO

O ambiente físico, descrito a partir das condições do subsolo, é um pré-requisito para projetos geotécnicos, como o de fundações. As informações geotécnicas são indispensáveis para a previsão dos custos associados ao projeto e a sua solução. A investigação do subsolo normalmente é realizada por meio de ensaios de campo, com o intuito de se definir o perfil estratigráfico (identificar os horizontes, suas espessuras e diferentes tipos de solos), a posição do nível d'água e os parâmetros mecânicos e hidráulicos das camadas de interesse.

Os ensaios de penetração do cone (CPT) e as sondagens de simples reconhecimento com medida de SPT (SPT) são técnicas de investigação de campo amplamente empregadas, ambas fornecendo uma medida da resistência à penetração no solo. Logo, é desejável correlacionar medidas de resistência do SPT (N_{SPT}) e do CPT (q_c) visando compartilhar as experiências entre as duas técnicas de investigação. Inúmeras proposições foram desenvolvidas para correlacionar q_c e N_{SPT} (Robertson et al. 1983; Chin et al. 1988). Entretanto, a razão q_c/N_{SPT} depende do tamanho médio das partículas (D_{50}). Além disso, tais proposições foram obtidas a partir de ensaios SPT e CPT realizados em solos formados em regiões de clima temperado, onde a condição não saturada e a presença de agregados estáveis cimentados, típicos de solos tropicais, não está presente.

Solos tropicais são caracterizados por apresentar peculiaridades de propriedades e de comportamento, distintos dos solos sedimentares, em decorrência da ação de processos geológicos e/ou pedológicos típicos de regiões tropicais úmidas. Os perfis de solos tropicais são caracterizados por apresentar condição não saturada, comportamento coesivo-friccional, onde fatores como estrutura, microestrutura, não linearidade de rigidez, anisotropia, gênese e desestruturação têm maior influência no seu comportamento do que o histórico de tensões (Vaughan et al., 1988). A resposta destes solos frente às solicitações está diretamente ligada a condição não saturada, grau de alteração, estrutura, microestrutura e características herdadas da rocha-matriz.

Este artigo apresenta e discute um banco de dados elaborado a partir de resultados de ensaios SPT e CPT previamente realizados em oito Campos Experimentais com perfis típicos de solos tropicais. Um total de 37 SPTs e CPTs, correspondendo a 420 pares de dados (N_{SPT} e q_c) foram interpretados e analisados. Observou-se que as proposições clássicas que relacionam q_c e N_{SPT} não foram adequadas para os solos investigados, e foram ajustadas para os solos investigados.

2 CORRELAÇÕES PRÉVIAS

Estudos sobre correlações entre a resistência da ponta do cone (q_c) e o índice N_{SPT} foram desenvolvidos para uma grande variedade de tipos de solos (Aoki e Velloso 1975, Schmertmann e Palacios 1979, Robertson et al. 1983, Kasim et al. 1986, Chin et al. 1988, Danziger e Velloso 1995, Politano 1999, Kara & Gündüz 2010, Shahri e Juhlin 2014). A Tabela 1 apresenta uma compilação de valores de $k = ((q_c/p_a)/N_{SPT})$ propostas por autores brasileiros e internacionais.

Vale ressaltar que a grande maioria dos valores não são corrigidos, ou seja, efeitos relacionados à eficiência (energia) bem como ao excesso de poropressão gerados não são considerados no SPT, o que pode ser uma das explicações da grande dispersão dos dados apresentados na Tabela 1. Outro fator, é a condição não saturada (sucção do solo) que afeta os valores de N_{SPT} e q_c (Giacheti et al. 2019, Rocha et al. 2021), uma vez que, na grande maioria das vezes, os ensaios não são realizados na mesma época.

Robertson et al. (1983), a partir de ensaios realizados em 18 locais, demonstraram que o índice $k = (q_c/p_a)/N_{SPT}$ depende do tamanho médio das partículas (D_{50}). Estes autores observaram que este índice aumenta com o aumento das partículas de solo. Entretanto, Robertson et al. (1983) citam a dificuldade em se determinar o tamanho médio das partículas, principalmente é depósitos arenosos. Kulhawy e Mayne (1990) combinaram novos dados com os dados apresentados por Robertson et al. (1983) e propuseram uma equação para a estimativa de k . Estes autores também observaram o aumento de k com o aumento do diâmetro médio das partículas. O banco de dados bem como a equação proposta Kulhawy e Mayne (1990) são apresentadas na Figura 1.



Tabela 1. Valores típicos de $k = (q_c/p_a)/N_{SPT}$

Referência	Solo	k
Costa Nunes e Fonseca (1959)	Argila, argila siltosa, silte argiloso	2,0
	Argila arenosa e silto-arenosa	3,5
	Silte arenoso	5,5
	Areia argilosa	6,0
	Areia pura	10,0
Velloso (1959)	Areia	10,0
	Areia argilosa	6,0
	Silte arenoso	3,0
Aoki e Velloso (1975)	Areia	10,0
	Areia siltosa	8,0
	Areia argilosa	6,0
	Silte	4,0
	Silte arenoso	5,5
	Argila arenosa	3,5
	Silte argiloso	2,3
	Argila	2,0
Barata et al. (1978)	Argila silto arenosa	1,5 - 2,5
	Areia silto argilosa	2,0 - 3,5
Danziger et al. (1998)	Areia	5,7
	Areia siltosa	5,7 - 6,1
	Areia silto argilosa	2,3 - 3,0
	Areia argilosa	5,0
	Silte arenoso	3,3
	Silte argilo siltoso	1,0 - 3,9
	Silte argiloso	2,8
	Argila arenosa	1,8 - 3,6
	Argila silto arenosa	2,0 - 3,2
	Argila siltosa	5,3
Schmertmann (1978)	Argila	4,5
	Areia	4,0 - 6,0
	Areia siltosa, argilosa, siltoargilosa ou argilossiltosa	3,0 - 4,0
	Silte, silte arenoso, argila arenosa	2,0
Remaswan et al. (1982)	Areia	5,0 - 7,0
	Areia siltosa, argilosa, siltoargilosa ou argilossiltosa	3,0
	Silte arenoargiloso, argiloarenoso; argila siltoarenosa, arenossiltosa	2,0
	Areia	6,0
Danziger e Velloso (1995)	Areia siltosa, argilosa, siltoargilosa ou argilossiltosa	5,3
	Silte, silte arenoso, argila arenosa	4,8
	Silte arenoargiloso, argiloarenoso; argila siltoarenosa, arenossiltosa	3,8
	Silte argiloso	3,0
	Argila e argila siltosa	2,5



Jefferies e Davies (1993) sugeriram a aplicação do índice de classificação do material (I_c) para estimar k , por meio da Equação 1. De acordo com esses autores, tal abordagem fornece melhores estimativas para N_{60} (valor de N_{SPT} para uma eficiência de 60%) do que o próprio SPT, devido à pouca repetibilidade do ensaio. Além disso, os autores citam que para solos finos com elevada sensibilidade, a Equação 1 pode superestimar os valores estimados de N_{60} .

$$\frac{(q_t/p_a)}{N_{60}} = 8,5 \left(1 - \frac{I_c}{4,6}\right) \quad (1)$$

Nesta mesma linha, Robertson (2012) sugere atualizar a Equação 2, a fim de se ter melhor estimativa de N_{60} para argilas não sensíveis:

$$\frac{(q_t/p_a)}{N_{60}} = 10^{(1,126 - 0,2817 c)} \quad (2)$$

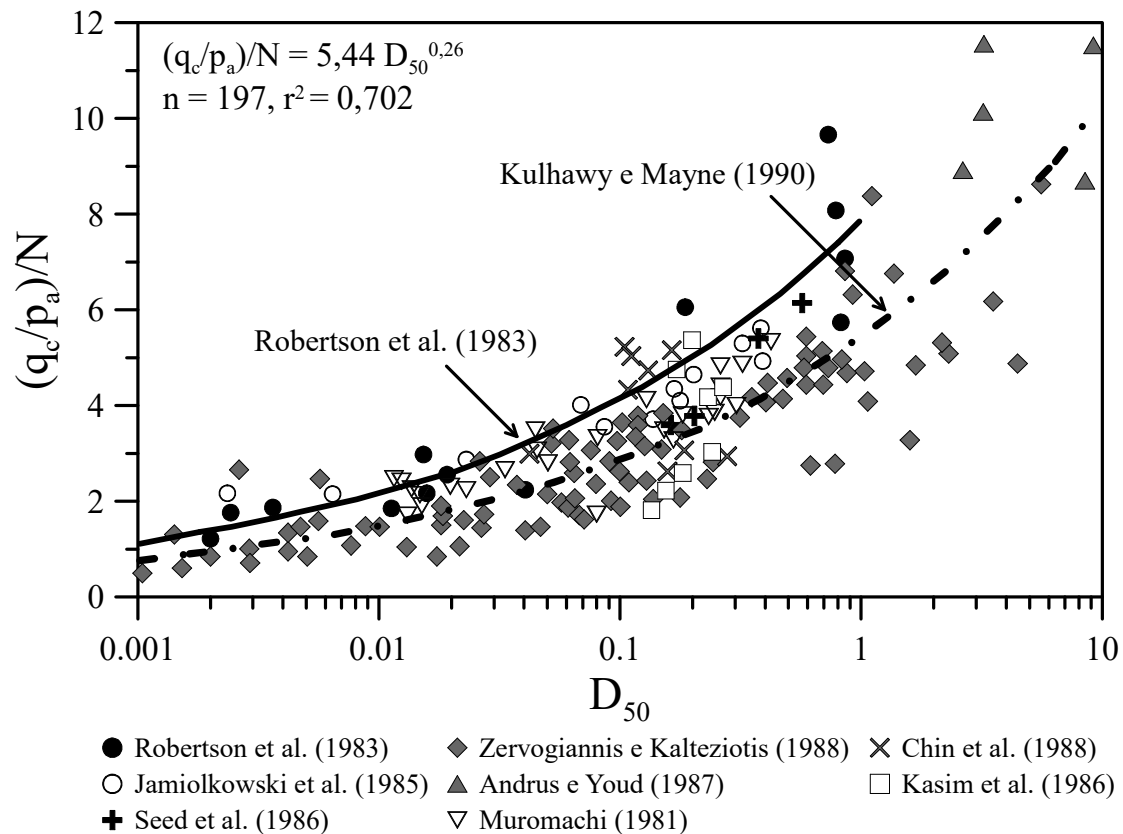


Figura 1. Razão $(q_c/p_a)/N$ vs D_{50} (adaptado de Kulhawy e Mayne 1990).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Trinta e sete ensaios SPT e CPT e de análise granulométrica conjunta previamente realizados nos Campos Experimentais da Unesp-Ilha Solteira/SP, Unesp-Bauru/SP, USP-São Carlos/SP, UNICAMP-Campinas/SP, UnB-Brasília/BR, UEL-Londrina/PR, UEM-Maringá/PR e UFSM-Santa Maria/RS foram analisados a fim de se determinar a relação q_c/N_{SPT} . Os ensaios SPT e CPT foram realizados até aproximadamente 20 m de profundidade. A Tabela 2 apresenta as principais características dos perfis



estudados. Ressalta-se que para o campus da UFSM, os resultados de ensaios de granulometria conjunta não estavam disponíveis para a determinação de D_{50} .

Assumiu-se uma eficiência de 72% para a determinação do coeficiente k , a partir das considerações de Décourt et al. (1989) para ensaios SPT. Entretanto, ressalta-se que para uma melhor determinação de k , é necessário conhecer a eficiência do ensaio SPT, prática ainda incipiente em projetos geotécnicos de pequeno a médio porte. Um desafio ao determinar k é que os parâmetros N_{SPT} e q_c são normalmente medidos em diferentes intervalos de profundidade. As determinações de q_c são normalmente realizadas em intervalos de 10-50 mm, enquanto o N_{SPT} é tipicamente determinado em intervalos de 1000 mm (ou maiores). Logo, pode ocorrer um efeito escala na determinação de k , pois q_c tende a capturar pequenas variações no perfil de solo (variabilidade), fato esse normalmente não contemplado pelo ensaio SPT. Neste sentido, os valores de q_c foram calculados como a média ao longo do intervalo de profundidade que foi utilizado para se obter o valor de N_{SPT} (por exemplo, o ensaio SPT foi realizado entre 1 e 2 m de profundidade [1 a 1,45 m], o valor de q_c empregado foi a média entre 1 e 2 m de profundidade). Importante informar que houve a correção de q_c para q_t nos locais investigados onde existia nível d'água e houve registro de poropressão (u) durante a cravação da ponteira cônica.

Tabela 2. Características dos locais investigados.

Local	Solo (SPT)	q_c (MPa)	N_{SPT}	D_{50} (mm)	I_c
Unesp – Ilha Solteira	Areia argilosa	5 (1,6 - 11)	7,15 (1-21)	0,1 (0,08 – 0,13)	2,5 (1,9 – 2,6)
Unesp – Bauru	Areia argilosa	4,9 (0,96 - 13)	10,4 (1 - 23)	0,22 (0,11 – 0,42)	2,2 (1,7 – 2,6)
USP – São Carlos	Areia argilosa	1,7 (0,38 – 3,8)	7,5 (1 - 20)	0,12 (0,09 – 0,17)	3,2 (2,3 – 3,5)
Unicamp - Campinas	Argila arenosa	2,5 (0,95 - 10)	7,7 (1 - 21)	0,05 (0,003 – 0,12)	2,9 (1,8 – 3,5)
UNB - Brasília	Argila arenosa	2,2 (0,5 - 8)	7,5 (2 - 20)	0,03 (0,002 – 0,06)	2,9 (1,8 – 3,2)
UEL – Londrina	Argila siltosa	2,2 (0,88 – 4,9)	8,8 (2 - 18)	0,005 (0,004 – 0,007)	2,8 (2,2 – 3,6)
UEM – Maringá	Argila siltosa	2,5 (0,7 – 8,7)	9,6 (1,6 - 31)	0,003 (0,001 – 0,005)	2,8 (2,3 – 3,4)
UFSM – Santa Maria	Argila arenosa	3,1 (0,3 – 4,7)	11 (1,6 – 24)	-	3 (2,9 – 3,25)

A (B – C): média (mínimo – máximo)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta os valores da média e do desvio padrão de k ($(q_c/p_a)/N_{60}$) para os locais investigados, sendo possível observar que a areia argilosa do campus da Unesp de Ilha Solteira apresentou os maiores valores de k . Em contrapartida, a areia argilosa do campus da USP de São Carlos apresentou o menor valor de k entre todos os locais investigados. Os solos argilosos (Brasília, Londrina, Maringá, Santa Maria) apresentaram valores de k variando entre 2,5 a 3,5. Apenas o solo argiloso do campus da Unicamp-Campinas apresentou valor k igual a 4,8. Observa-se a tendência geral de redução de k com a redução do diâmetro médio das partículas, como apresentado por Robertson et al. (1993) e Kulhawy e Mayne (1990).



Outro ponto interessante que pode ser observado na Figura 2 é o elevado desvio padrão da relação $(q_c/p_a)/N_{60}$. Este comportamento pode estar associado a condição não saturada, típica dos perfis de solos investigados, uma vez que a condição não saturada, ou seja, a sucção, podem afetar os valores de q_c e N_{SPT} (Giacheti et al. 2019, Rocha et al. 2021), pois foram determinados em diferentes campanhas de ensaios previamente realizadas. Além disso, a não correção da eficiência no ensaio SPT também pode influenciar os valores elevados de desvio padrão.

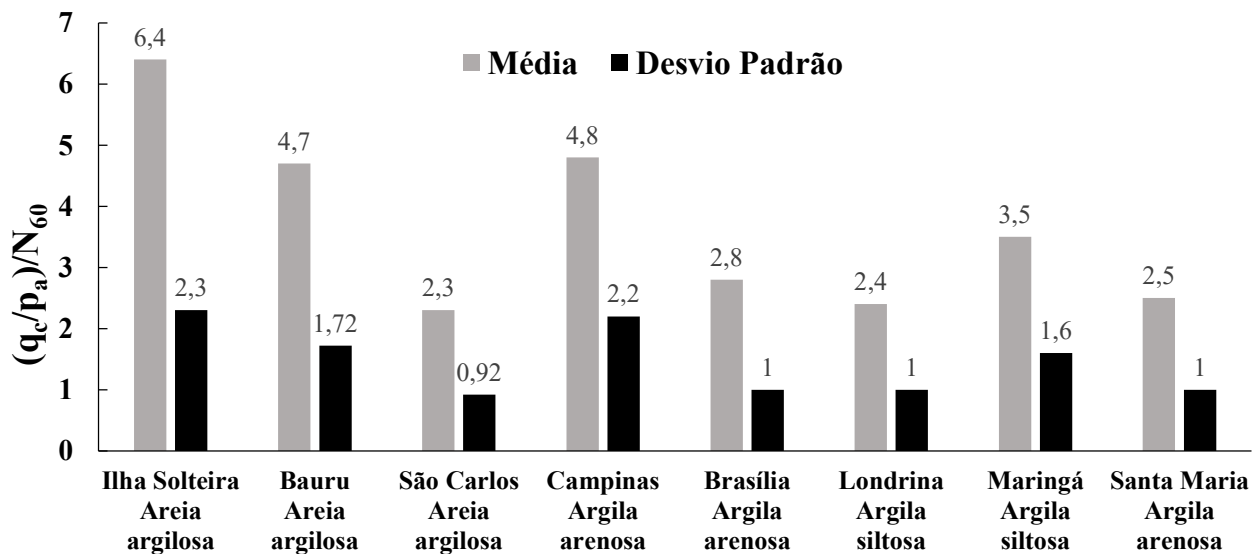


Figura 2. Valores de k ($(q_c/p_a)/N_{60}$) para os locais investigados.

A Figura 3 apresenta a faixa de variação (média – mínimo – máximo) da relação $(q_c/p_a)/N_{60}$ versus D_{50} para os solos investigados (exceto para o da UFSM) no ábaco proposto por Robertson et al. (1983). Observa-se a grande variação de k dentro do mesmo perfil do subsolo. Tal fato está relacionado a camada superficial dos solos investigados, que apresentam comportamento colapsível, ocasionando baixos valores de q_c e N_{SPT} nos horizontes superficiais e elevados valores nos horizontes mais profundos. Observa-se que esta abordagem não representa adequadamente o comportamento dos solos investigados. Além disso, a determinação de D_{50} a partir de ensaios de granulometria conjunta é demorado e muitas vezes inviável para horizontes de solo mais profundos. Logo, é necessário inserir outros parâmetros para uma melhor estimativa de k .

Os dados dos oito locais investigados foram plotados na Figura 4, empregando as abordagens desenvolvidas por Jefferies e Davies (1993) e Robertson (2012), Equações 1 e 2, respectivamente. Observa-se que ambas as abordagens não foram adequadas para a previsão de k . Entretanto, observa-se a tendência geral de redução de k com a redução do diâmetro das partículas, como verificado por Robertson et al. (1983), Jefferies e Davies (1993) e Robertson (2012). Este comportamento, como previamente discutido, pode estar relacionado a condição não saturada, comportamento coesivo-friccional, macro e microestrutura (cimentação) e gênese, fatores esses que regem o comportamento mecânico dos solos tropicais.

Os métodos clássicos de interpretação de resultados de ensaios de campo foram desenvolvidos para solos bem-comportados, como argilas moles e areias puras (jovem e sem microestrutura), sempre saturadas, podem não ser adequados e levar a previsões de comportamento não realistas quando se trata de solos tropicais, devido as peculiaridades inerentes ao seu comportamento. Robertson (2016) discorre que para solos não convencionais, como os solos tropicais, as metodologias clássicas de interpretação de ensaios CPT, como as apresentadas por Jefferies e Davies (1993) e Robertson (2012), devem ser empregadas com cautela, e ajustes locais são necessários para uma caracterização adequada do solo.



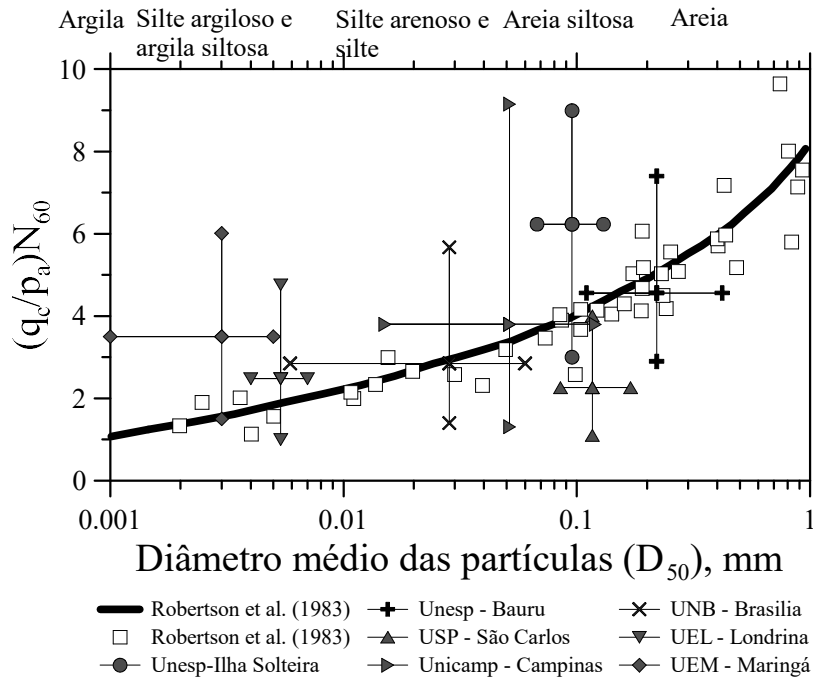


Figura 3. Razão $(q_c/p_a)/N_{60}$ vs D_{50} para os locais investigados (adaptado de Robertson et al. 1983).

A Figura 5 apresenta novos ajustes propostos considerando os dados para os oito locais investigados. Observa-se uma melhor estimativa de k a partir das novas equações propostas (Equação 3 e Equação 4), entretanto, ainda há uma grande dispersão dos dados, isto é, baixos valores de r^2 .

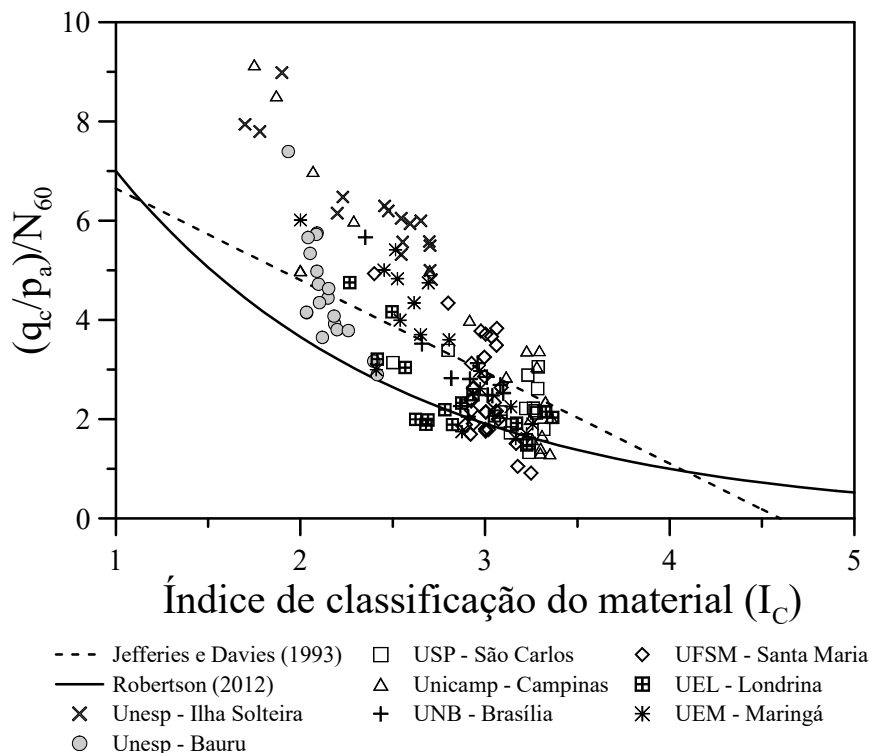


Figura 4. Razão $(q_c/p_a)/N_{60}$ vs I_c para os locais investigados.



$$\frac{(q_t/p_a)}{N_{60}} = 10 \left(1,2 - \frac{I_c}{3,2} \right) \quad (r^2 = 0,671) \quad (3)$$

$$\frac{(q_t/p_a)}{N_{60}} = 10^{(1,509 - 0,3637I_c)} \quad (r^2 = 0,683) \quad (4)$$

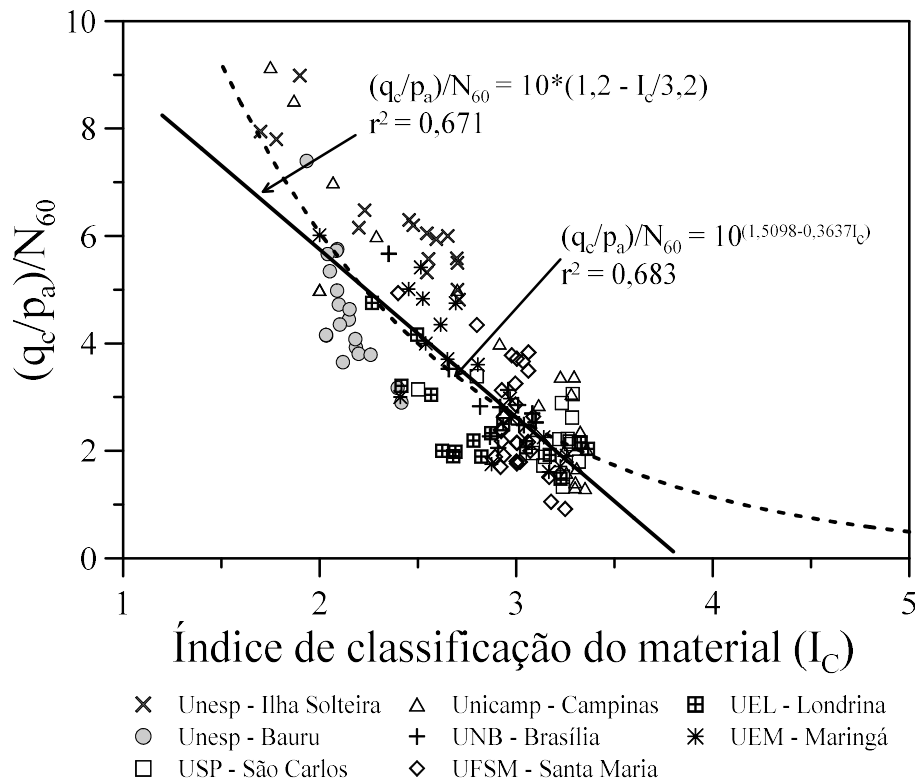


Figura 5. Novas equações para a razão $(q_c/p_a)/N_{60}$ vs I_c para os locais investigados.

5 CONCLUSÕES

Correlações entre CPT e SPT para oito solos tropicais foram testadas e outras foram estabelecidas. As correlações apresentam grande dispersão, principalmente devido ao comportamento não convencional dos solos tropicais, onde a condição não saturada, comportamento coesivo-friccional e macro e microestrutura regem o comportamento mecânico desses materiais.

Solos com mesma classificação textural apresentaram diferentes valores de k ($(q_c/p_a)/N_{60}$). A tendência geral de diminuição de k ($(q_c/p_a)/N_{60}$) com a diminuição do tamanho das partículas foi observado, mas a abordagem que correlaciona k com D_{50} não foi adequada. As abordagens clássicas de Robertson (2012) e Jefferies e Davies (1983) não foram capazes de estimar os valores k adequadamente. Logo, ajustes foram propostos para uma melhor estimativa desse coeficiente.

Ressalta-se que em solos não convencionais como os solos tropicais, as metodologias clássicas para a interpretação de ensaios de campo nem sempre representam adequadamente o comportamento mecânico do solo, e ajuste locais podem ser necessários para uma caracterização adequada do solo e de seu comportamento.

AGRADECIMENTOS



Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (Procs. nº 2015/16270-0 e 2017/23174-5) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Procs. nº 308895/2015-D e 436478/2018-8). Agradecem também a bolsa de estudos concedida ao segundo autor pela FAPESP (Proc. nº 2023/01882-9) durante a realização de seu curso de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barata, F. E., Pacheco, M. P., Danziger, F. A. B. (1978). Provas de carga à tração em tubulões e sapatas executados em solo residual. In: VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 6, 1978, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro. v. 3. pp. 1-37.
- Chin, C. T., Duan, S. W., Kao, T. C. (1988). SPT-CPT correlations for granular soils. In: 1st International Symposium on Penetration Testing - ISOPT-1, 1988, Orlando. *Proc.* Orlando: ICE. v. 1, p. 335-339.
- Costa Nunes, A. J., Fonseca, A. M. M. C. C. (1959). Estudo da correlação entre ensaios *diepsondering* e a resistência a penetração do amostrador em sondagens. Relatório interno de Estacas Franki DT 37/59, 1959.
- Danziger, F. A. B., Politano, C. F., Danziger, B. R. (1998). CPT - SPT correlations for some Brazilian residual soils. In: International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization - ISC, 1, 1998, Atlanta. *Proc.* Atlanta: ISSMGE. v. 2, p. 907-912.
- Danziger, B. R., Velloso, D. A. (1995) Correlations between the CPT and SPT from some Brazilian soils. In: 1nd International Symposium on Cone Penetration Test – CPT'95, 1995, Linköping. *Proc.* Linköping: CPT'95. v. 2, p. 155-160.
- Décourt, L. (1989). The standard penetration test, state-of-the-art. In: 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering – ICOSOMEFE, 12, 1989, Rio de Janeiro. *Proc.* Rio de Janeiro: ISSMGE. v. 4, p. 2405-2416.
- Giacheti, H. L., Bezerra, R. C., Rocha, B. P., Rodrigues, R. A. (2019). Seasonal influence on cone penetration test: An unsaturated soil site example. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(2), p. 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.10.005>
- Jefferies, M. G., Davies, M. P. (1993). Use of CPTU to estimate equivalent SPT N60. *Geotechnical Testing Journal*, 16(4), p. 458-468. <https://doi.org/10.1520/GTJ10286J>
- Kara, O., Gündüz, Z. (2010). Correlation between CPT and SPT in Adapazari, Turkey. In: 2nd International Symposium on Cone Penetration Test – CPT'10, 2, 2010, Califórnia. *Proc.* California: CPT'10. v. 1, p. 1-7.
- Kasim, A. G., Chu, M., Jensen, C. N. (1986). Field correlation of cone and standard penetration tests. *Journal of Geotechnical Engineering Division*. 112, p. 368- 372.
- Kulhawy, F. H., Mayne, P. W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. Electric Power Research Institute – EI – 6800, Project 1493-6, Electric Power Research Institute, Palo Alto, Calif.
- Politano, C. F. (1999) *Correlações entre os resultados de CPT e SPT em solos residuais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE, 210 p.
- Robertson, P. K. (2012). Interpretation of in-situ tests – some insights - J. k. Mitchell Lecture. In: 4th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization – ISC, 4, 2012, Porto de Galinhas. *Proc.* Porto de Galinhas: ISSMGE. v. 1, p. 1-12.
- Robertson, P. K. (2016). CPT-based Soil Behavior Type (SBT) Classification System - an update. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(12), p.1910-1927. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0044>



- Robertson, P. K., Campanella, R. G., Wightman, A. (1983) SPT- CPT Correlations. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 109, nº 111, pp. 1449- 1459.
- Rocha, B. P.; Rodrigues, R. A., Giacheti, H. L. (2021). The Flat Dilatometer Test in an Unsaturated Tropical Soil Site. Geotechnical and Geological Engineering, 39, p. 5957-5969. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01849-1>
- Shahri, A. A., Juhlin, C. (2014). A reliable correlation of SPT-CPT data for southwest of Sweden, Eletronic Journal of Geotechnical Engineering, v. 19, p. 1013-1032.
- Schmertmann, J. H. (1978). Guidelines for cone penetration test, performance and design. Report FHW-TS-78-209. Washington, D.C.: US Federal Highway Administration.
- Vaughan, P.R., Maccarini, M., Mokhtar, S.M. (1988). Indexing the engineering properties of residual soils. Quarterly Journal of Engineering Geology, 21(1), p. 69-84.
- Velloso, D. A. (1959). O ensaio de *diepsondering* e a determinação da capacidade de carga do solo, Rodovia, Rio de Janeiro, N. 29, p.3-7, 1959.

