

Variações nas razões q_c/N na região de Passo Fundo, devido a fatores geológico-ambientais

Roberto Naime^{1*} e Alberto Pio Fiori²

¹Departamento de Engenharia Civil, FENG/Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. ²Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Curitiba, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: naimec@pu.rs.br

RESUMO. O agrupamento de investigações geotécnicas por SPT e CPT seguindo critérios de influências de fatores geológico ambientais, permite identificar diferentes zonas de influência de estágio de maturação dos solos e áreas de domínio de diferentes condições geomorfológicas. Esses conjuntos foram identificados a partir da locação das investigações em mapas, verificando os diferentes comportamentos da razão q_c/N em cada domínio considerado. O presente trabalho descreve os critérios utilizados nessa diferenciação, apresentando os gráficos de correlação entre q_c e N , e diagramas mostrando o comportamento de $K (q_c/N)$ em relação à profundidade, fazendo algumas considerações a respeito dos resultados encontrados.

Palavras-chave: geotecnia, resistência de solos, geologia aplicada.

ABSTRACT. Variation in q_c/N reasons in Passo Fundo region, RS, due to environmental-geologic factors. The geotechnical grouping investigation by SPT and SCP, following the criteria of geologic-environmental factor influences, allows identifying influence zones of soils maturation stage and domain areas of different geomorphological conditions. These groups were identified from the location of investigations in maps, verifying different behaviors of the q_c/N reason, in each considered domain. The current study describes the criteria utilized in this differentiation, presenting the correlation between q_c and N and diagrams showing the behavior of the $K (q_c/N)$ in relation to the depth, considering the results found.

Key words: geotechnical, soil resistance, applied geology.

Introdução

O presente trabalho avalia e mostra os resultados da influência de alguns fatores geológico-ambientais sobre os dados de investigação geotécnica por SPT (“Standard Penetration Test”) e CPT (“Cone Penetration Test”).

É estudada, basicamente, a relação entre q_c (resistência de ponta do cone) e N (número de golpes para cravação dos últimos 30 cm) e o comportamento de $K (q_c/N)$ em relação à profundidade.

Assim, são desenvolvidos estudos comparativos da aplicação de dados de SPT e CPT em função de variáveis geológico-ambientais consideradas, e se estabelecem diretrizes para agregar novos fatores de controle aos dados que são utilizados para a estimativa das capacidades de carga dos terrenos para fundações.

A área de estudos é a cidade de Passo Fundo, onde foram executados os ensaios aqui apresentados.

A região de Passo Fundo situa-se no Planalto Médio Sul-Riograndense (Figura 1).

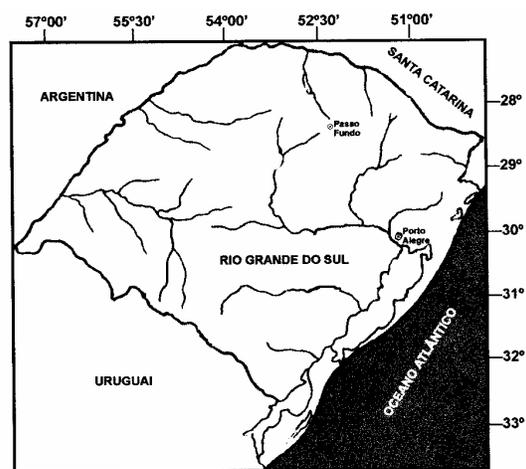


Figura 1. Mapa de localização da região de Passo Fundo

A geologia da região é expressa pela ocorrência de rochas vulcânicas, predominantemente basálticas. Esse conjunto de litotipos é integrante da Formação Serra Geral, da Bacia Gondwânica do Paraná.

Material e métodos

Na área de Passo Fundo, foram utilizados 35 perfis de sondagens a percussão e de cone, de 15 relatórios de investigações geotécnicas por SPT e CPT, totalizando 581,25 m. Esses dados encontram-se georeferenciados em arquivos específicos.

Os solos residuais foram subdivididos nos 2 tipos, considerando a modelagem numérica do terreno e os mapas de contorno elaborados com base no agrupamento de descrições e curvas de resistência ao SPT e CPT semelhantes.

As médias das resistências obtidas em cada área determinada, pelos critérios usados, foram utilizadas para aferição da variável analisada.

Critérios de separação

Observando as descrições dos perfis de sondagem, das resistências e dos materiais analisados; considerando as descrições dos perfis típicos de solos de Passo Fundo, a geologia da área e os conhecimentos do autor; foram delimitadas zonas de influência das variáveis consideradas para os solos residuais dessa região: a) influência da maturidade dos terrenos; b) influência das condições geomorfológicas.

As características de cada variável são observadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Fatores considerados para determinar a zona de influência do estágio de maturidade sobre as curvas de resistência aferidas para os solos residuais derivados de rochas basálticas de Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul

Estágio de maturidade dos solos	
Solos Maduros	Solos Jovens
Predominam os perfis tipicamente argilosos, com baixa resistência inicial, aumentando com a profundidade;	Predominam perfis argilosos, mas com grande contribuição de material silteoso e horizontes arenosos;
Curvas de resistência ao amostrador-padrão de Terzaghi baixos ao longo de todo o perfil crescendo apenas em profundidade, nas proximidades do nível de impenetrabilidade à percussão;	Curvas de resistência ao amostrador-padrão de Terzaghi intercalando horizontes de resistência diferenciada, de acordo com as condições locais, principalmente de nível freático;
Tendem a composições de solos predominantemente argilosos com o aumento da profundidade.	Ocorrem solos silto-arenosos com matriz argilosa.

Resultados

Nos solos definidos pelas características descritas nas Tabelas 1 e 2, como de maturidade jovem de Passo Fundo, as médias de K permanecem

praticamente constantes com o aumento da profundidade, em valores que oscilam entre 1 e 1,5 (Figura 2).

Tabela 2. Fatores considerados para determinar a zona de influência das condições geomorfológicas sobre as curvas de resistência aferidas para os solos residuais derivados de rochas basálticas de Passo Fundo, Estado do Rio Grande do Sul

Condições Geomorfológicas	
Taludes Convexos	Taludes Côncavos
Curvas de resistência dos solos que crescem homogêneas com o aumento de profundidade, com raras ocorrências de alternâncias de resistências;	Curvas de resistência dos terrenos, alternando horizontes com maior ou menor capacidade de carga, em função dos processos repletivos;
Perfis de terrenos que tendem a composições granulométricas maiores com o aumento da profundidade.	Perfis de terrenos que tendem a composições argilosas ou argilo-siltosas a medida em que se desenvolvem.

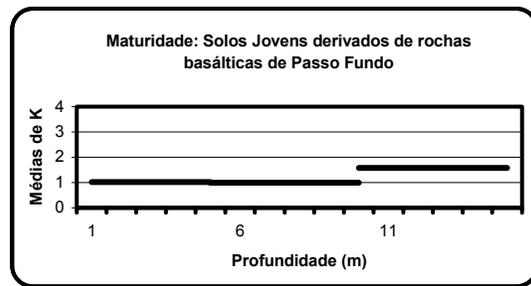


Figura 2. Médias das razões K em função da profundidade.

A correlação entre N e q_c, apresentada na Figura 3, é muito boa, apresentando o valor significativo de 0,88.

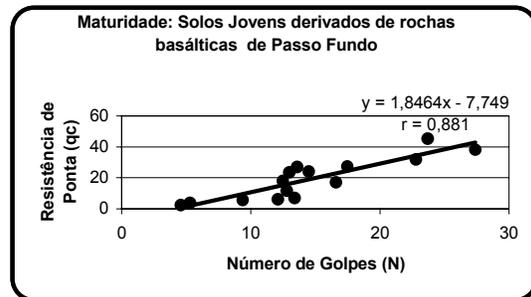


Figura 3. Correlações entre número de golpes (N) e resistência de ponta (q_c)

Nos solos maduros de Passo Fundo, as médias de K praticamente não se alteram com o aumento da profundidade em razões sempre inferiores à unidade (Figura 4).

A correlação entre N e q_c é menor que nos solos jovens, mas ainda é significativa, situando-se próxima a 0,7 (Figura 5).

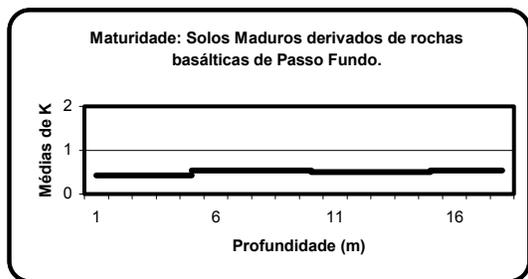


Figura 4. Médias de K contra profundidade para os solos maduros

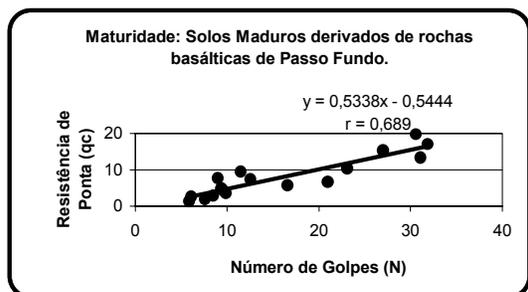


Figura 5. Correlação de q_c versus N para solos maduros

A média de K em função da profundidade para os taludes côncavos também varia pouco, em função do aumento da profundidade (Figura 6).

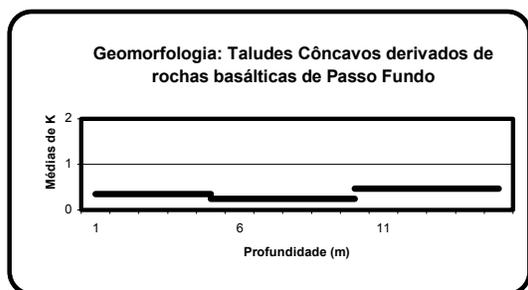


Figura 6. Médias de K contra profundidade para Taludes Côncavos

Nos taludes convexos, a média de K cresce levemente com o incremento da profundidade (Figura 7).

Os solos residuais resultantes da decomposição do basalto de Passo Fundo exibem granulometria fina, sendo predominantemente argilosos e siltsos. Como não ocorre o mineral quartzo nos basaltos, não existem frações arenosas nos solos.

Eventuais porções arenosas resultam de fragmentos basálticos em decomposição, formando relictos de maior granulometria, geralmente confinados ao horizonte saprolítico de transição

entre os solos e a rocha, fora do alcance dos dados disponíveis das investigações tanto por CPT quanto por SPT.

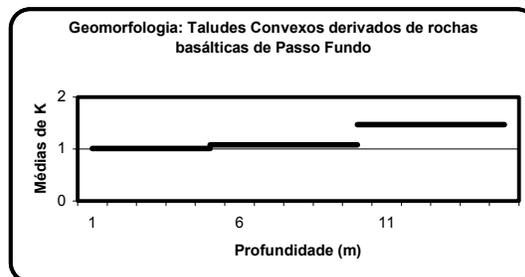


Figura 7. Médias de K versus profundidade para Taludes Convexos

A natureza dos minerais que constituem esses terrenos envolve grande quantidade de minerais argilosos cloríticos e argilo-minerais próprios de terrenos latossólicos. Resultante disto é a elevada cerosidade do terreno e seu caráter macio.

Na região do Planalto Sul-Riograndense, o nível freático profundo determina a inexistência de pressões ocasionadas pelo confinamento e saturação, e desta forma, é facilitada a operação de penetração do cone, fenômeno que diminui a resistência medida.

As sondagens à ferramenta de percussão parecem ser menos influenciadas por esses fatores, que podem determinar alguma distorção no resultado final das capacidades de carga obtidas a partir de dados de CPT.

O fato de as condições geomorfológicas serem variáveis relevantes para os terrenos de decomposição de basalto de Passo Fundo está ligado à granulometria.

Na variável considerada “estágio de maturidade dos terrenos”, a granulometria é claramente granocrescente em profundidade. No caso da variável geomorfologia, não ocorre variação granulométrica clara nos perfis, e a influência do nível freático é muito diversa. Na base dos taludes convexos, a presença de nível freático confinado aumenta a influência das forças inerciais, preponderantes sobre a evolução da cravação do cone.

Nos taludes convexos, ao contrário, as taxas de escoamento superficial e as infiltrações, combinadas, não produzem aquíferos confinados, influenciado menos a evolução da cravação do cone.

Sobre as sondagens à percussão, a influência do lençol freático é considerada irrelevante pela bibliografia (De Mello, 1971; Belicanta e Cintra, 1998), e pelos estudos aqui apresentados.

Vários autores destacam, ainda, a necessária importância da relação entre o diâmetro de ponta do cone e o diâmetro da haste de cravação para a correção da resistência de ponta quanto às pressões neutras (Amaral e Rocha Filho, 1985; Lunne *et al.*, 1997).

O extenso intervalo de oscilações nas correlações diretas entre N (número de golpes do SPT) e q_c (resistência de ponta do CPT) nos vários trabalhos existentes, certamente indica e deixa implícito que outras variáveis, além da profundidade e natureza dos solos, são interferentes.

Vários trabalhos (Lunne *et al.*, 1997) concluem que os métodos de previsão da capacidade de carga de uma estaca baseados nos resultados de cone ou piezocone subestimam o valor, comparados com a prova de carga, e confirmam a necessidade de considerar, também, os fatores aqui discutidos como o estágio de maturidade dos solos e a situação geomorfológica, e mesmo a influência do nível freático, aqui não considerada por falta de dados confiáveis.

Deve ser feita, portanto, prova de carga sobre elementos estruturais de transferência de carga executados em terrenos, após considerar os fatores geológicos influentes nesse local, a fim de possibilitar a definição de coeficientes de correlação relevantes por retro-análises estatísticas.

Importantes pesquisas demonstram que a influência da natureza granulométrica dos solos é pequena, sendo mais importante a tensão horizontal nos resultados, destacando a importância do tempo de dissipação das tensões na ponta do amostrador na influência do histórico de tensões no solo (Amaral e Rocha Filho, 1985; Bernardes e Nordal, 1991).

Discussão

Sergeev (1980), em seu clássico artigo "Engineering Geology and Protection of Environmental", destaca que os solos não são simples sistemas mecânicos de elementos granulométricos, ligados ou não por forças coesivas, com propriedades constantes, ressaltando a importância da consideração dos fatores genéticos e pós-genéticos que influenciaram a formação das propriedades e determinaram sua evolução.

Terzaghi e Peck (1967), Gibbs e Holtz (1957), Holubeck e D'Appolonia (1973) e Marcusson e Bieganousky (1977) relatam a influência do índice de vazios, cuja redução aumenta a resistência à penetração.

Sergeev (1980), citando Schultze e Miezenback (1961), a DIN 4.094 (1980) e Skempton (1986) destacam a influência do tamanho médio das

partículas, cujo aumento eleva a resistência à penetração. Citando a DIN 4.094 (1980), relata que solos uniformes apresentam menor resistência à penetração.

Schnaid (2000), citando Terzaghi e Peck (1967), Bazaraa (1967), de Mello (1971) e Rodin *et al.* (1974), refere a influência da pressão neutra, que em solos finos densos produz dilatação, aumentando a resistência.

A DIN 4.094 (1980) cita a angulosidade das partículas, cujo aumento eleva a resistência à penetração; referindo Zolkov e Wiseman (1965).

Por último, de Mello (1971), Dikran (1983), Schnaid e Houlsby (1994) salientam a influência do nível de tensões, cuja ampliação vertical ou horizontal aumenta a resistência, registrando, ainda, a influência da idade dos depósitos já referida anteriormente.

O trabalho apresentado comprova que algumas variáveis geológico-ambientais, como o grau de maturidade dos terrenos e as condições geomorfológicas, influenciam as avaliações da resistência por SPT e CPT.

Fatores como a influência geomorfológica e o grau de maturidade, descritos e demonstrados há muito tempo por autores como Vargas (1953), Berry e Ruxton (1959) e Oliveira (1975), discutindo a origem dos materiais para formação dos solos, destacam a importância que esses processos determinam como herança nas características dos materiais, e que, portanto, acabam tendo influência sobre os métodos de aferição de resistência.

A influência da natureza dos solos e, em consequência, do volume de vazios sobre a densidade e, portanto, sobre as resistências; a presença de lençol freático livre ou confinado, determinando variações no comportamento das forças de inércia que influem nas aferições dos equipamentos de SPT e CPT também devem ser observadas.

Danziger e Velloso (1986) destacam pela primeira vez, que "a idéia de se agrupar os solos de mesma formação parece representar a situação ideal". De fato, sempre transparece na discussão entre engenharia e geologia, na interface da geotecnia ou da mecânica dos solos, uma visão mais materialista na aceção de tipo de material (granulometria) por parte da engenharia, com a visão da geologia contrapondo uma concepção geneticista, em função da origem e formação dos solos.

Danziger *et al.* (1998), citando Vargas (1953) e Sandroni (1985), e Naime (2001) observaram a influência da maturidade dos solos para introduzir correlações entre SPT e CPT, adotando

classificações de solos para agrupar diferentes razões entre q_c/N . Esses autores concluem que são estabelecidas correlações para diferentes tipos de solos residuais derivados de diferentes tipos de rochas, assinalando que diferentes tipos de rochas produzem diferentes correlações para o mesmo tipo de solo.

Conclusão

Os estudos comparativos comprovam a influência do estágio de maturidade e da condição geomorfológica sobre os terrenos de Passo Fundo sobre o comportamento das razões entre resistência de ponta do cone e número de golpes da sondagem a percussão.

A magnitude das influências desses fatores e sua importância somente poderão ser mensuradas com a execução de estudos de investigação geotécnica.

Essa prospecção deve ser seguida de execução de cálculos de capacidade de carga dos terrenos e de execução de estacas instrumentadas e provas de carga sobre as estacas, para a elaboração de retro-análises estatísticas, considerando os diferentes elementos influentes, conforme as situações de campo existentes e demonstradas.

Agradecimentos

À Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e ao Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio na realização do trabalho; à Fapergs, pelas inúmeras bolsas de iniciação científica fornecidas desde 1992, quando este projeto foi iniciado.

Referências

AMARAL, C.S.; ROCHA FILHO, P. Estudo Comparativo entre diversas proposições de previsão de capacidade de suporte da base de fundações através de CPT. *In: SIMPÓSIO TEORIA E PRÁTICA DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS*, 1985, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 1985, v.2, p.13-28.

BAZARAA, A.R.S.S. *Use of the standard penetration test for estimating settlement of shallow foundations on sand*. Chicago: University of Illinois, 1967.

BELINCANTA, A.; CINTRA, J. C. A. Fatores intervenientes em variantes do método ABNT para Execução do SPT. *Solos e Rochas*, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 119-133, 1998.

BERNARDES, G.; NORDAL, S. Estudo da Capacidade de carga de Estacas Modelo através de Ensaio Estáticos e Dinâmicos. *In: SEMINÁRIO DE ENG. DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS*, 3,1991, Porto Alegre. *Anais...*Porto Alegre, 1991, v.2, p.17-30.

BERRY, L.; RUXTON, B.P. Notes on Weathering zones and soils on granitic rocks in two tropical regions. I. *Soil Sci.*, Baltimore, v.10, p.54-63, 1959.

DANZIGER, B. R.; VELLOSO, D. de A. Correlações entre SPT e os resultados de ensaios de penetração contínua. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES*, 8, 1986, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, 1986, p.103-113.

DANZIGER, F.A.B. *et al.* CPT-SPT Correlations for some Brazilian residual soils *In: ROBERTSON, P.K.; MAYNE (Ed.). Geotechnical site Characterization*. Rotterdam: Balkema, 1998, p.907-912.

DE MELLO, V. F. B. The Standard Penetration Test. *In: PANAMERICAN CONGRESS ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, 4., 1971. Puerto Rico. *Proceedings...* Puerto Rico, 1971, v. 1, p.1-86.

DIKRAN, S. S. *Some factors affecting the dynamic penetration resistance of a saturated fine sand*. University of Surrey, 1983.

DIN 4094, Part 2. *Dynamic and Static Penetrometers: Application and Evaluation*. Berlin, 1980.

GIBBS, H.J.; HOLTZ, W.C. Research of Determining the Density of Sand by Spoon Penetration Test. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, 4, 1957. London. *Proceedings...* London, 1957, v.1, p.35-39.

HOLUBEC, L.; D'APPOLONIA, E. Effect of particle shape on the engineering properties of granular soils. *In: ASTM SPT 523*, p.304-318, 1973.

LUNNE, T. *et al.* *Cone penetration test in geotechnical practice*. London: Blackie Academic & Professional, 1997.

MARCUSON, W. F.; BIEGANOUSKY, W. A. Laboratory Standard Penetration Tests on Fine Sands. *Journ. Geol. Engng.*, New York: ASCE, p. 565-580, 1977.

NAIME, R.H. *Influência de algumas variáveis geológico-ambientais na estimativa da capacidade de carga de solos de Porto Alegre e Passo Fundo por SPT e CPT*. 2001. Tese (Doutorado) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

OLIVEIRA, I.B. Princípios básicos para classificação e sinopse dos principais grandes grupos. *In: MUNIZ, A. (Coord.). Elementos de pedologia*. Rio de Janeiro: Editora da Universidade de São Paulo/Editora Polígono, 1975, p.351-362.

RODIN, S *et al.* Penetration testing in United Kingdom. *In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON PENETRATION TESTING*, 1., 1974, London. *Proceedings...* London, 1974, v.1, p.139-146.

SANDRONI, S.S. Sampling and testing for residual soils in Brazil. Sampling and Testing of Residual Soils - a Review of International Practice. Technical Committee on Sampling and Testing of Residual Soils, *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, 11, 1985, San Francisco. *Proceedings...* 1985, p.31-50.

- SCHNAID, F. *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. São Paulo: Oficina de textos, 2000.
- SCHNAID, F.; HOULSBY, G.T. Measurement of the properties of sand in a calibration chamber by the cone pressuremeter test. *Geotechnique*, London, v. 42, p.587-601, 1994.
- SCHULTZE, E.; MIEZENBACK, E. Stand penetration test and compressibility of soils. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, 5, 1961, Paris. *Proceedings...Paris*, 1961, v.1, p.527-532.
- SERGEEV, E. M. Engineering Geology and Protection of the Environment. *Bull. IAEG*, n.22, 1980.
- SKEMPTON, A.W. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing, and overconsolidation. *Geotechnique*, London, v. 36, n. 3, p.425-447, 1986.
- TERZAGHI, K.; PECK, R.B. *Soil mechanics in Engineering Practice*. New York: John Willey, 1967.
- VARGAS, M. Some engineering properties of residual clay soils occurring in Southern Brazil. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, 3, 1953. Zurich. *Proceedings... Zurich*, 1953, v.1, p.67-71.
- ZOLKOV, E.; WISEMAN, G. Engineering properties of dune and beach sands and the influence of stress history. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, 6., 1965. Montreal. *Proceedings... Montreal*, 1965, v. 1, p.134-138.

Received on April 04, 2002.

Accepted on July 08, 2002.