

Tipo de Comportamento do Solo do Depósito de Sarapuí II

P. F. Nejaim

Insitutek Consultores Ltda, Rio de Janeiro, Brasil, paulanejaim@poli.ufrj.br

G. M. F. Jannuzzi

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, jannuzzi@coc.ufrj.br

F. A. B. Danziger

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, danziger@coc.ufrj.br

RESUMO: Uma aplicação importante do ensaio de piezocone tem sido a determinação da estratigrafia e a identificação do tipo de comportamento do solo. Isso tem sido feito de forma satisfatória através de ábacos que relacionam parâmetros do piezocone com o tipo de solo. O presente artigo utiliza dados de ensaios de piezocone do depósito de argila mole de Sarapuí II para avaliar o tipo de comportamento de solo através da proposta de Robertson (1990) e recentes atualização (Robertson 2009, 2012a). Como referência, foram utilizadas duas camadas de argila levemente sobreadensadas, 3,0-7,5 m, e 7,5-10 m, para as quais estão disponíveis dados geotécnicos com bom nível de detalhamento. A tendência do leve sobreadensamento foi identificada corretamente no gráfico $Q_{tn} - F_r$, mas não no $Q_{tn} - B_q$. Ambas as camadas caíram na zona de comportamento não drenado, o que é consistente. Contudo, a camada 1 foi classificada como compressiva e a camada 2 dilatante, não correspondendo a realidade. Uma sugestão de modificação do limite de comportamento compressivo-dilatante para o topo da zona SBT_n 4 é realizada.

PALAVRAS-CHAVE: Argila mole, ensaio de piezocone, tipo de comportamento do solo, campo experimental de Sarapuí II.

1 INTRODUÇÃO

Uma das aplicações mais importantes do ensaio de piezocone (CPTu) tem sido a definição da estratigrafia e a identificação do tipo de comportamento do solo. Normalmente isso tem sido alcançado via ábacos que relacionam os parâmetros obtidos com o ensaio ao tipo de solo. A tendência de comportamento normalmente adensado pode ser verificada na proposta de Robertson (1990). Recentemente Robertson (2012a) identifica no ábaco $Q_{tn} - F_r$ os limites aproximados do comportamento drenado e dilatante, drenado e compressivo, não-drenado e dilatante, não-drenado e compressivo.

Ensaio de piezocone de boa qualidade foram realizados no campo experimental de Sarapuí II. Os dados foram analisados para verificar a confiabilidade dos métodos de identificação mais comuns, através do software CPeT-IT.

2 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS ATRAVÉS DE ENSAIOS DE CPT E CPTU

2.1 Histórico

Begemann (1965) foi o primeiro autor a propor um ábaco para a classificação dos solos com base na resistência de ponta (q_c) e no atrito lateral (f_s), o qual foi proposto com o emprego do cone mecânico. Outras sugestões foram apresentadas, baseadas tanto no CPT mecânico (e.g., Schmertmann 1978) quanto no CPT elétrico (e.g. Douglas e Olsen 1981).

Com o aparecimento da sonda piezométrica, e posteriormente do piezocone, surgiram várias propostas de classificação dos solos nas quais a poro-pressão gerada substituíra o atrito lateral – considerado como um parâmetro menos confiável em relação à resistência de ponta e à poro-pressão (e.g., Jones e Rust 1982).

A primeira proposta empregando as três grandezas conjuntamente (q_t , f_s e u) foi a de Robertson et al. (1986), através do uso simultâneo de dois ábacos. O primeiro relaciona a resistência de ponta corrigida q_t com a relação de atrito $FR=f_s/q_t$, e o segundo, q_t com o parâmetro de poro-pressão B_q (equação 1).

O método de Robertson et al. (1986) se tornou muito popular. Parâmetros normalizados sugeridos por Wroth (1984) foram utilizados (Q_t e F_r , equações 2 e 3, além do B_q) por Robertson (1990), para considerar a influência do estado de tensão do solo.

$$B_q = \frac{u_2 - u_o}{q_t - \sigma_{vo}} \quad (1)$$

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} \quad (2)$$

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{vo}} \quad (3)$$

Eventualmente, solos podem cair em zonas diferentes em cada ábaco; nesses casos é necessário um julgamento para classificar corretamente o solo (Lunne et al. 1997).

Robertson et al. (1986) e Robertson (1990) chamam atenção ao fato de que ábacos baseados no CPT preveem o comportamento do solo, e sugeriram o termo ‘tipo de comportamento do solo’, uma vez que o cone responde ao seu comportamento mecânico in situ e não diretamente à classificação granulométrica e de plasticidade.

Doze zonas de ‘tipo de comportamento do solo’ (SBT) foram propostas por Robertson et al. (1986) e nove (SBTn) por Robertson (1990). Robertson (2010) atualizou o método original de Robertson et al. (1986) incluindo uma resistência de ponta adimensional (q_c/p_a , onde p_a =pressão atmosférica) e reduzindo o número de zonas SBT de 12 para 9, com intuito de coincidir com as zonas SBTn.

Segundo Robertson (2009), os ábacos normalizados identificam o tipo de comportamento do solo de forma mais confiável que os ábacos não normalizados, muito embora, em casos em que a tensão in situ vertical esteja entre 50 e 150 kPa, a diferença seja muito pequena.

É interessante pontuar a mudança de hierarquia no uso da poro-pressão em relação ao

atrito lateral. De fato, a Tabela 1, adaptada de Liao (2005), evidencia a lista de diversos ábacos de classificação do solo encontrados na literatura. Eles estão divididos em três grupos: a) ábacos baseados na resistência de ponta e atrito lateral; b) ábacos baseados na resistência de ponta e poro-pressão; c) ábacos baseados nas três grandezas do CPTu. A tendência da atual preferência pelo uso das três grandezas pode ser verificada na Tabela.

Tabela 1. Ábacos de classificação dos solos encontrados na literatura (adaptado de Liao, 2005)

Métodos baseados em:

a) resistência de ponta e atrito lateral: Begemann (1965), Sanglerat et al. (1974), Schmertmann (1978), Douglas e Olsen (1981), Vos (1982), Robertson e Campanella (1983), Erwing (1988), Olsen e Malone (1988), Olsen e Mitchell (1995), Zhang e Tumay (1999), Eslami e Fellenius (1997)

b) resistência de ponta e poro-pressão: Jones et al. (1981), Jones e Rust (1982), Senneset e Janbu (1984), Parez e Fauriel (1988), Senneset et al. (1989), Chang-hou et al. (1990), Jian et al. (1992) e Schneider et al. (2008)

c) todas as três grandezas do CPTu: Robertson et al. (1986), Robertson (1990, 1991), Larsson e Mulabdic (1991), Jefferies e Davies (1991, 1993) e Ramsey (2002)

Todavia, a tendência de retornar ao uso de um único ábaco com a resistência de ponta e atrito lateral (parâmetros normalizados) foi justificada com detalhes por Robertson (2012a), com base, de forma simplificada, no que segue:

- i) No caso de ensaios onshore, a penetração se inicia em solo não saturado antes de atingir solos saturados. O uso de líquidos viscosos, como silicone, tem minimizado os efeitos de perda de saturação, mas não tem resolvido completamente o problema. Além disso, alguns operadores comerciais de CPT fazem um pré-furo e preenchem o com água.
- ii) Embora tenha sido documentado (e.g., Lunne et al. 1986) que o atrito lateral é menos acurado que a resistência de ponta, uma série de medidas pode fornecer valores confiáveis de f_s .

Robertson (2009) aplica ao ábaco $Q_t - F_r$ de Robertson (1990) o conceito do índice de classificação dos solos, I_c (Equação 4), o qual pode ser definido essencialmente como o raio de círculos concêntricos que delimitam as fronteiras

do tipo de solo, conforme mostra a Figura 1. Segundo Robertson (2012b), quão maior o índice de classificação dos solos I_c , maior é a plasticidade de um dado material, sendo $I_c=2,60$ um valor estimado, que limita materiais plásticos e não plásticos.

$$I_c = [(3,47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1,22)^2]^{0,5} \quad (4)$$

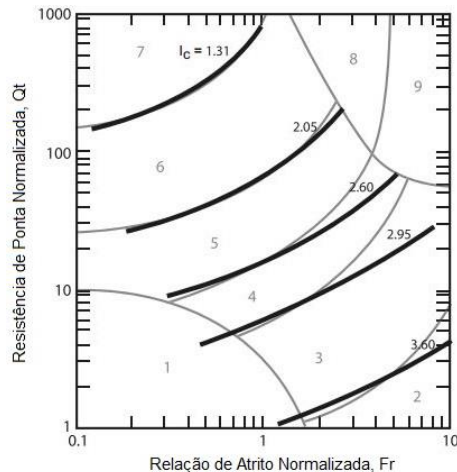


Figura 1. Curvas do I_c (em negrito) no ábaco normalizado SBTn $Q_t - F_r$, Robertson (2009)

A proposta de Robertson (2012a) está apresentada na Figura 2. Esse ábaco é particularmente útil, visto que é possível obter a correlação direta com a resposta do solo quando cisalhado, se é dilatante ou compressivo e se ocorre de forma drenada ou não drenada.

A Tabela 2 apresenta de forma resumida as propostas de Robertson e co-autores ao longo do tempo (Robertson et al. 1986, Robertson 1990, Robertson 2010, Robertson 2012a):

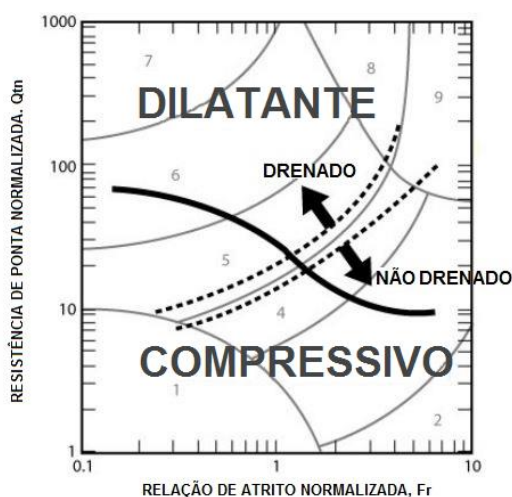


Figura 2. Limites aproximados do comportamento dilatante-compressivo e drenado-não drenado (Robertson, 2012a)

Tabela 2. Propostas de Robertson e coautores ao longo do tempo (Robertson et al. 1986, Robertson 1990, Robertson 2009, Robertson 2010 e Robertson 2012a)

Proposta	Principal contribuição
1986	Primeira proposta de classificação dos solos utilizando as 3 grandezas medidas pelo CPTu
1990	Introduz o conceito de normlização nos ábacos
2009	Introduz o conceito de I_c nos ábacos
2010	Adequa a proposta de 1986 à de 1990
2012a	Define zonas de comportamento do solo dilatante-compressivo, drenado-não drenado

3 O CAMPO EXPERIMENTAL

3.1 Generalidades

Os primeiros estudos na região do campo experimental de Sarapuí foram realizados por Pacheco Silva (1953). Entretanto, o campo experimental de Sarapuí foi estabelecido oficialmente em meados dos anos 1970 pelo IPR-DNER visando o estudo de aterros sobre argilas moles, um problema enfrentado por aquele órgão ao longo de todo país (Ortigão e Lacerda 1979). Um abrangente projeto de pesquisas foi iniciado em 1974, sob a supervisão do Professor Willy Lacerda, da COPPE/UFRJ. Pesquisas foram conduzidas numa cooperação entre IPR-DNER, COPPE/UFRJ e PUC-Rio. Várias pesquisas, envolvendo ensaios de campo e laboratório, instrumentação de aterros e escavação, foram realizadas (e.g., Ortigão et al. 1983). Artigos abrangentes envolvendo as pesquisas no campo experimental de Sarapuí foram elaborados por Almeida e Marques (2002), Almeida et al. (2005) e Cavalcante et al. (2006). Situado em uma área junto à Baía de Guanabara, na margem esquerda do rio Sarapuí, cerca de 7 km da cidade do Rio de Janeiro, suas coordenadas médias são $22^{\circ}44'39''(S)$ e $43^{\circ}17'23''(W)$. Todavia, nos últimos 15 anos, aspectos associados, sobretudo, à segurança fizeram com que a utilização do depósito de Sarapuí se tornasse problemática. Assim, e com o apoio da Marinha, foi possível a utilização de área da Estação Rádio da Marinha no Rio de Janeiro, dando origem ao local que passou a ser

designado Sarapuí II. O novo campo situa-se também na margem esquerda do rio Sarapuí, a cerca de 1,5 km de Sarapuí I.

Estudos relacionados a fundações foram procedidos em Sarapuí II (e.g., Alves 2004, Danziger et al. 2013, Guimarães 2015). Testes iniciais com o piezocone torpedo (Porto et al. 2010) também foram realizados em Sarapuí II. Diversos ensaios de campo foram executados nessa nova área, os quais estão sendo utilizados pelo (Cenpes/Petrobras) e pela COPPE/UFRJ

como um novo campo experimental de argila muito mole e orgânica. Tipicamente, a argila muito mole no campo experimental de Sarapuí II tem aproximadamente 8m de espessura, e uma camada de argila siltosa encontra-se subjacente a mesma. Um estudo muito abrangente do depósito de Sarapuí II foi conduzido por Jannuzzi (2009, 2013) e Jannuzzi et al. (2015).

Algumas características importantes desse material são apresentadas na Figuras 3.

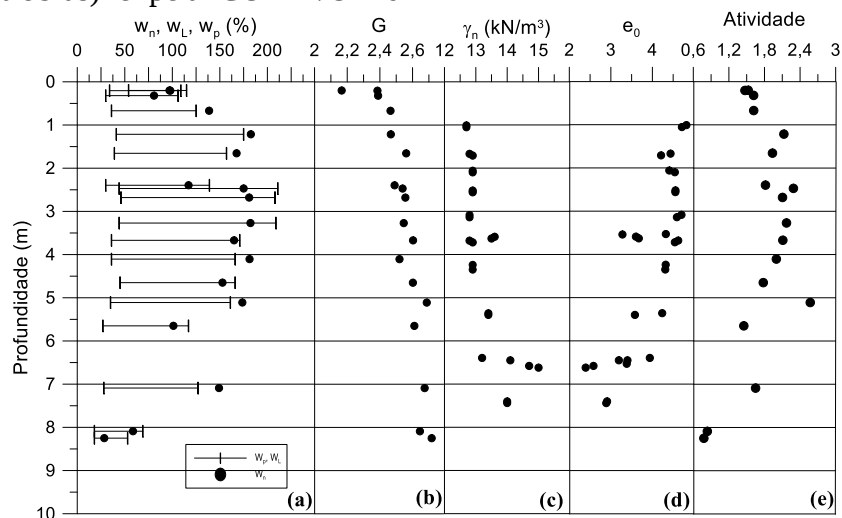


Figura 3 Limites de liquidez (w_L) e plasticidade (w_P), umidade natural (w_n), densidade real dos grãos (G), peso específico (γ_n),  ndice de vazios (e_0) e atividade versus profundidade (adaptado de Jannuzzi 2013, Jannuzzi et al. 2015).

A razão de sobreadensamento (OCR) foi obtida de ensaios de adensamento incremental padrão 24h. As amostras utilizadas foram de excelente qualidade, ver Jannuzzi (2013). Os corpos de prova na faixa de profundidade 4,0 – 6,5m apresentaram um número significativo de conchas, o que resultou na realização de uma grande plástica para que as conchas fossem removidas. Estes resultados não têm significado. Pode-se observar que o depósito encontra-se levemente sobreadensado abaixo dos 3m, com uma razão de sobreadensamento (OCR) em torno de 2.

3.2 Ensaio de Piezocone

Sete ensaios de piezocone foram realizados em Sarapuí II, um deles, foi realizado sob um aterro existente (Jannuzzi 2009). A velocidade padrão de 20 mm/s foi utilizada em todos os ensaios. O equipamento utilizado foi desenvolvido pela COPPE/UFRJ e Grom Eng. Este equipamento é capaz de medir resistência de ponta (q_c), atrito lateral (f_s), poro-pressão na

face, u_1 , e na base, u_2 do cone. As vantagens de se medir poro pressão em duas posições têm sido reconhecidas ao logo dos últimos 15 anos na COPPE/UFRJ e tem sido reportada por e.g. Danziger (2007). Um resultado t pico é apresentado na Figura 4.

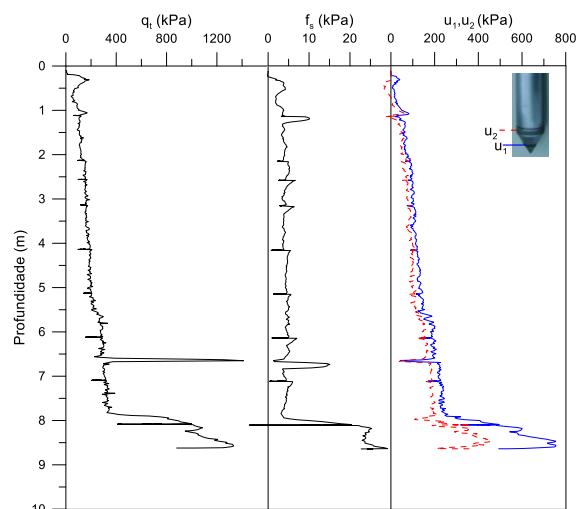


Figura 4. Resistência de ponta corrigida (q_t), atrito lateral (f_s) e poro-pressão na face do cone (u_1) e na base do cone (u_2) de um resultado t pico de ensaio de piezocone em Sarapuí II (Jannuzzi et al. 2015).

Adotou-se como padrão a realização da calibração antes e depois de cada série de ensaios no âmbito de carregamento e descarregamento de valores esperados de carga e pressão no campo. Como prática regular da COPPE/UFRJ, a água tem sido utilizada como fomo fluido de saturação.

4 TIPO DE COMPORTAMENTO DO SOLO DE SARAPUÍ II

A análise em pauta refere-se a duas camadas, a primeira de 3 – 7,5m (camada 1) e a segunda 7,5 – 9m (camada 2). Essa escolha é devido ao fato de que os primeiros 3m do depósito encontra-se sobreadensado, e, a proposta deste artigo é analisar o material que pode ser considerado levemente sobreadensado. Deve-se chamar atenção ao fato de que evidências geológicas indicam que todo o depósito foi formado submerso. Em outras palavras, o valor de OCR do material abaixo de 3m é atribuído ao adensamento secundário (Martins et al. 2009). Além disso, não se sabe ao certo até o momento o porque dos valores de OCR obtidos nos primeiros 3m do depósito.

Os resultados dos seis ensaios de piezocone, mostraram excelente repetibilidade. Esses resultados foram plotados nos ábacos de Robertson (1990, 2009, 2012a), utilizando o

software CPeT-IT, e os resultados encontram-se na Figura 5. A camada 1 (argila orgânica), em cinza, tem a maior parte dos pontos na zona SBTn 3 – argilas: argila para argila siltosa – em ambos os ábacos, o que é consistente com o material testado, apesar de que se poderia esperar, dado a alta concentração de matéria orgânica, que ao menos parte dos pontos caíssem na zona SBTn 2 – argila – solo orgânico. A camada 2 (argila siltosa), em verde, tem a maioria dos seus pontos na zona SBTn 4, para o ábaco $Q_t - F_r$, enquanto no ábaco $Q_m - B_q$ os pontos se encontram dispersos nas zonas SBTn 3, 4 e 5. O SBTn 4 é consistente com o comportamento esperado do material, e a classificação em diferentes zonas SBTn pode ser explicada pelo fato de que o atrito lateral (e por consequência de F_r) é um valor medido ao longo de um certo comprimento, enquanto o valor medido da poro-pressão (e por consequência de B_q) é mais localizado, refletindo em súbitas mudanças no perfil de solo.

A tendência de OCR é consistente com os dados plotados no ábaco $Q_t - F_r$, indicando aproximadamente que ambas as camadas apresentam leve sobreadensamento. Os dados plotados no gráfico $Q_m - B_q$, contudo, não refletem de forma correta a diferença entre as duas camadas, visto que indica um valor maior de OCR no caso da segunda camada.

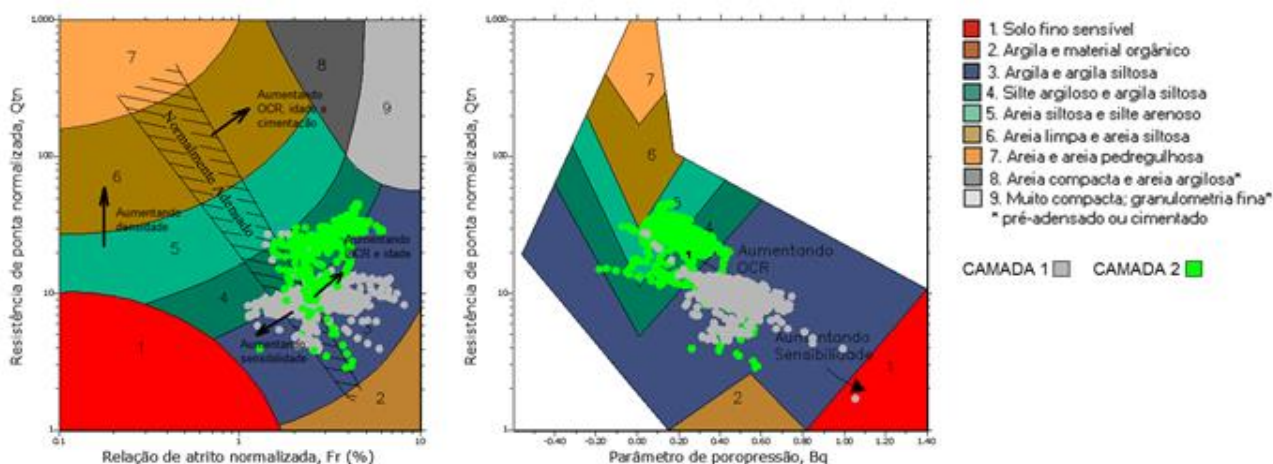


Figura 5. Ambas camadas plotadas no ábaco normalizado de Robertson (1990)

A Figura 6 mostra os resultados plotados conforme Robertson (2009), onde os valores de I_c são sobrepostos ao ábaco $Q_t - F_r$. O aumento de plasticidade se dá com o aumento de I_c , sendo $I_c=2,60$ uma curva divisória de

materiais plásticos e não plásticos. Observa-se que a camada 1 tem I_c entre 2,95 e 3,60, enquanto a camada 2 possui I_c entre 2,60 e 2,95, o que está correto, uma vez que aquela camada possui maiores valores de LL e IP do que esta.

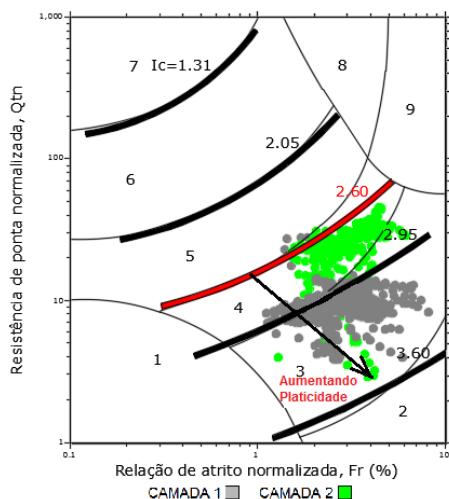


Figura 6. Ambas as camadas plotadas no ábaco de Robertson (2009); tendência de tendência de aumento de plasticidade com aumento de I_c

Os resultados também foram analisados de acordo com a proposta de Robertson (2012a), onde o comportamento drenado-não drenado e dilatante-compressivo são delimitados (Figura 7), com limites que foram incluídos no ábaco fornecido pelo software CPeT-IT.

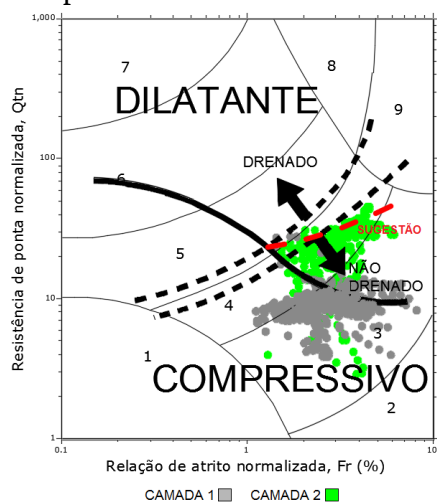


Figura 7. Ambas as camadas plotadas no ábaco de Robertson (2012a); sugestão de tendência para a fronteira dilatante-compressivo

Ambas as camadas caem na área de comportamento não drenado, o que já era esperado, visto que a separação entre estes dois tipos de comportamento se dá, de forma aproximada, entre as linhas de SBTn 4 e 5, i.e. a fronteira entre comportamento típico de argila e areia. Os resultados são consistentes com o tipo de comportamento das camadas.

Entretanto, a camada 1 é classificada como compressiva e a 2 como dilatante, o que não é verdade. As duas camadas são compressivas,

conforme ensaios de DSS realizados em amostras cujas tensões in situ foram reconstituídas. Ainda, evidências geológicas indicam que todo o depósito foi formado submerso, e que não há evidências de remoção de camadas de solo, as quais justificariam alto OCR. Sendo assim, o limite entre comportamento dilatante e compressivo deveria ser redesenhado para acima da zona SBTn 4, como uma sugestão, indicada na Figura 7.

4 CONCLUSÕES

Os resultados dos seis ensaios de piezocone, executados cuidadosamente em no campo experimental de Sarapuí II, foram utilizados para avaliar a confiabilidade das propostas de Robertson (1990, 2009, 2012a), as quais identificam o tipo de comportamento do solo.

Duas camadas levemente sobreadensadas foram utilizadas como referência, neste trabalho, a primeira de coloração cinza escuro, muito mole, de altíssima plasticidade e orgânica (camada 1), e a segunda, de coloração amarela, silto argilosa, mais rija, com menor teor de matéria orgânica e índice de plasticidade (camada 2).

Ambas as camadas foram identificadas corretamente como SBTn 3 (camada 1) e 4 (camada 2) em ambos ábacos normalizados $Q_t - F_r$ e $Q_{tn} - B_q$. De fato, poderia-se esperar que parte dos pontos da camada 1 caíssem na zona SBTn 2, dado a alta concentração de matéria orgânica, mas que não foi o caso.

A tendência de ambas as camadas levemente adensadas foi corretamente identificada com o uso do ábaco $Q_t - F_r$. O mesmo não se pode dizer em relação ao ábaco $Q_{tn} - B_q$. Apesar da indicação no ábaco, não se pode verificar uma indicação de que a camada 2 teria um valor de OCR maior do que a camada 1.

Observa-se que a camada 1 tem I_c entre 2,95 e 3,60, enquanto a camada 2 possui I_c entre 2,60 e 2,95, o que está correto, uma vez que a primeira camada possui maiores valores de LL e IP que a segunda camada.

Ambas as camadas caíram nas zonas de comportamento não drenado, o que é consistente. Todavia, a camada 1 foi

classificada como compressiva e a camada 2 como dilatante, o que não condiz com a realidade. Uma sugestão de mudança do limite do comportamento dilatante-compressivo para o topo da zona SBTn 4, foi realizada.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M.S.S., Marques, M.E.S. (2002) The Behaviour of Sarapuí Soft Clay, *Workshop on the Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils*, Singapura, Vol. 1, p. 477–504.
- Almeida, M.S.S., Marques, E.S., Lacerda, W.A. e Futai, M.M. (2005). Investigações de Campo e de Laboratório na Argila do Sarapuí, *Solos e Rochas*, Vol. 28, n. 1, p. 3-20.
- Alves, A.M.L. (2004). *A Influência da Viscosidade do Solo e do Tempo após a Cravação na Interação Dinâmica Estaca-Solo em Argilas*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Begemann, H. K. S. (1965) The Friction Jacket Cone as an Aid in Determining the Soil Profile, *6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, ICSMFE, Montreal, Vol. 2, p. 17 - 20.
- Cavalcante, E.H., Giacheti, H.L., Danziger, F.A.B. e Coutinho, R.Q. (2006) Workshop Campos Experimentais de Fundações, *XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Curitiba.
- Cheng-Hou, Z., Greeuw, G., Jekel, J. e Rosenbrand, W. (1990). A New Classification Chart for Soft Soils using the Piezocone Test, *Engineering Geology*, Vol. 29, p. 31-47.
- Danziger, F. A. B. (2007). In Situ Testing of Soft Brazilian Soils, *Studia Geotechnica et Mechanica*, XXIX, Vol. 1-2, p. 5-22.
- Danziger, F.A.B., Freitas, A.C., Santana, C.M., Jannuzzi, G.M.F., Guimarães, G.V.M. E ALVES, A.F.B. (2013). Relatório final de atividades – Provas de carga horizontal, vertical e inclinada da estaca-torpedo modelo – Realização das provas de carga, apresentação e análise dos resultados. Relatório técnico PEC-11444-rt5, abril.
- Douglas, B.J., Olsen, R.S. (1981) Soil Classification using Electric Cone Penetrometer, *Symposium on Cone Penetration Testing and Experience, Geotechnical Engineering Division*, ASCE. St. Louis, Missouri, p. 209-227.
- Erwig, H. (1988) The Fugro Guide for Estimating Soil Type from CPT Data, *Penetration Testing in the UK*, Thomas Telford, Londres, p. 261 - 263.
- Eslami, A. e Fellenius, B.H. (1997). Pile Capacity by Direct CPT and CPTu Methods Applied to 102 Case Histories, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 34, n. 6, p. 880-898.
- Guimarães, G.V.M.D (2015). *Comportamento de Estaca-Torpedo Modelo Instrumentada Em Prova De Carga Horizontal Em Argila Mole*, Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Jannuzzi, G.M.F. (2009). *Caracterização do Depósito de Solo Mole de Sarapuí II através de Ensaio de Campo*, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Jannuzzi, G.M.F. (2013). *Inovadoras, modernas e tradicionais metodologias para a caracterização geológico-geotécnica da argila mole de Sarapuí II*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Jannuzzi, G.M.F., Danziger, F.A.B., Martins, I.S.M., (2015). Geological-geotechnical characterisation of Sarapuí II clay, *Engineering Geology*, Vol. 190, p. 77-86.
- Jefferies, M. G. e Davies, M. P. (1991). Soil classification using the cone penetration test. Discussion, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 28, n. 1, p. 173 - 176.
- Jefferies, M.G. e Davies, M.P. (1993). Use of CPTU to Estimate Equivalent SPT N60, *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, Vol. 16, n. 4, p. 458-468.
- Jian, D., Xiaoling, Z., Longgen, Z. e Lianyang, Z. (1992) Some in-situ and laboratory geotechnical test techniques used in China, *U.S. – China Workshop on Cooperative Research in Geotechnical Engineering*, Tongji University, Shanghai and The Ohio State University, Columbus, Ohio.
- Jones, G.A., Van Zyl, D. e Rust, E. (1981) Mine Tailings Characterization by Piezometer Cone, *Symp. on Cone Penetration Testing and Experience*, ASCE, St. Louis, p. 303-324.
- Jones G. A., Rust, E. (1982). Piezometer penetration testing, CPTU, *2nd European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-2*, Amsterdam, Vol. 2, p. 607-614.
- Larsson, R. e Mulabdic, M. (1991) Piezocone Tests in Clay, *Swedish Geotechnical Institute*, SGI, n. 42, p. 240.
- Liao, T. (2005). *Post Processing of Cone Penetration Data for Assessing Seismic Ground Hazards, with Application to the New Madrid Seismic Zone*, Tese de Doutorado, Georgia Institute of Technology, Georgia.
- Lunne, T., Eidsmoen, T., Gillespie, D. e Howland, J.D. (1986) Laboratory and Field Evaluation of Cone Penetrometers, *In Situ '86*, GT. Div. ASCE, p. 714-729.
- Lunne, T., Robertson, P.K. & Powell, J.J.M. (1997). *Cone penetration testing in geotechnical practice*. Blackie Academic & Professional, Londres.

- Martins, I.S.M., Santa Maria, P.E.L., Santa Maria, F.C.M. (2009). Laboratory Behaviour of Rio de Janeiro Soft Clays. Part 1: Index and Compression Properties, *Soils and Rocks*, Vol. 32, n. 2, p. 100-103.
- Olsen, R. S., e Malone, P. G. (1988) Soil Classification and Site Characterization using the Cone Penetrometer Test, *First International Symposium on Cone Penetration Testing, ISOPT-1*, Orlando, Vol. 2, p. 887 - 893.
- Olsen, R.S. e Mitchell, J.K. (1995) CPT Stress Normalization and Predication of Soil Classification, *International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT 95)*, Linkoping, Sweden, Swedish Geotechnical Society, Vol. 2, p. 257-262.
- Ortigão, J.A.R., Werneck, M.L.G., Lacerda, W.A. (1983). Embankment failure on clay near Rio de Janeiro. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 109, n. 11, p. 1460-1479.
- Ortigão, J.A.R., Lacerda, W.A. (1979), Propriedades Geotécnicas da Argila Cinza do Rio de Janeiro. Relatório Parcial, Instituto de Pesquisa Rodoviária - IPR/DNER 2.019-03.01-2/14/42
- Pacheco Silva, F. (1953), Shearing Strenght of a Soft Clay Deposit Near Rio de Janeiro. *Géotechnique*, Vol. 3, p. 300-305.
- Parez e Fauriel (1988). Le Piezocone Ameliorations Apportees a la Reconnaissance de Sols, *Revue Francaise de Geotech*, Vol. 44, p. 13-27.
- Porto, E.C., Medeiros Jr., C.J., Henriques Jr., P.R.D., Foppa, D., Ferreira, A.C.P., Costa, R.G.B., Fernandes, J.V.V., Danziger, F.A.B., Jannuzzi, G.M.F., Guimarães, G.V.M., Silva Jr., S.P., Alves, A.M.L. (2010) The Development of The Torpedo-Piezocone, *29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, OMAE 2010, American Society of Mechanical Engineers, New York.
- Ramsey, N. (2002) A Calibrated Model for the Interpretation of Cone Penetration Tests CPTs in North Sea Quaternary Soils, *SUT Conf*, Londres
- Robertson, P. K. e Campanella, R. G. (1983). Interpretation of Cone Penetrometer Tests, Part I Sand, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 20, n. 4, p. 718 - 733.
- Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., Greig, J. (1986) Use of piezometer cone data, *In-Situ '86 Use of In-situ testing in Geotechnical Engineering*, GSP 6, ASCE, Reston, VA, Specialty Publication, p. 1263-1280.
- Robertson, P.K. (1990). Soil Classification using the Cone Penetration Test. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 27, n.1, p. 151-158.
- Robertson, P.K. (1991). Soil Classification using the Cone Penetration Test: Reply, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 28, p. 176-178.
- Robertson, P.K. (2009). Interpretation of Cone Penetration Tests – A Unified Approach, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 46, p. 1337-1355.
- Robertson, P.K. (2010) Soil behaviour type from the CPT: an update, *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10*, Huntington Beach, CA, USA.
- Robertson, P.K. (2012a) Interpretation of in-situ tests – some insights, *Mitchell Lecture – International Symposium on Site Characterization, ISC'4*, Recife, PE, Brasil, Vol. 1, p. 3-24.
- Robertson, P.K. (2012b). Cone Penetration Testing Interpretation Soil Type, Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Xs41yNTCSXU>. Data de acesso: 19 de fev de 2015
- Sanglerat, G., Nhim, T. V., Sejourne, M. e Andina, R. (1974) Direct Soil Classification by Static Penetrometer with Special Friction Sleeve, *First European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-1*, Stockholm, Vol. 2, p. 337 - 344.
- Schmertmann, J.H. (1978). Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and Design. Federal Highway Administration Report FHWA-TS-78-209, Washington, D.C.
- Schneider, J.A., Randolph, M.F., Mayne, P.W. e Ramsey, N.R. (2008). Analysis of Factors Influencing Soil Classification using Normalized Piezocone Tip Resistance and Pore Pressure Parameters, *Journal Geotechnical and GeoEnvironmental Engineering*, Vol. 134, n. 11, p. 1569-1586.
- Senneset, K. e Janbu, N. (1984) Shear Strength Parameters Obtained from Static Cone Penetration Tests, *Symp. on Strength Testing of Marine Sediments: Laboratory and In-Situ Measurements*, ASTM 04-883000-38, San Diego, p. 41-54.
- Senneset, K., Sandven, R. e Janbu, N. (1989) Evaluation of Soil Parameters from Piezocone Test, *In-situ Testing of Soil Properties for Transportation*, Transportation Research Record, n. 1235, Washington, D. C., p. 24 - 37.
- Vos, J. D. (1982) The Practical Use of CPT in Soil Profiling, *Second European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-2*, Amsterdam, May 24 -27, Vol. 2, p. 933 - 939.
- Wroth, C.P. (1984). The Interpretation of In-Situ Soil Tests, *Rankine Lecture, Geotechnique*, n. 4.
- Zhang, Z. e Tumay, M.T (1999). Statistical to Fuzzy Approach toward CPT Soil Classification, *Journal of Geotechnical and GeoEnvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 125, n. 3, p. 179-186.