

Considerações sobre a Identificação de Solos Colapsíveis

Breno Padovezi Rocha

Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Ilha Solteira, Brasil, breno.rocha@ifsp.edu.br

Roger Augusto Rodrigues

Professor, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Bauru, Brasil, roger.rodrigues@unesp.br

Heraldo Luiz Giacheti

Professor, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Bauru, Brasil, h.giacheti@unesp.br

RESUMO: Os solos colapsíveis são suscetíveis a deformações volumétricas devido a uma brusca variação no índice de vazios quando ocorre um aumento no conteúdo de água em seus vazios ou ao serem carregados e posteriormente umedecidos. Os critérios de identificação dos solos colapsíveis mais reconhecidos baseiam-se em índices físicos, porém, muitas vezes restringem-se aos solos para os quais foram desenvolvidos. No laboratório, os ensaios edométricos simples e duplos são amplamente empregado para a previsão do comportamento colapsível. Entretanto, para sua realização necessita-se de amostras indeformadas e o processo de amostragem e de preparação pode induzir perturbações e erros experimentais na avaliação deste comportamento. Uma alternativa interessante seria empregar os ensaios de Cone Sísmico (SCPT) e o Dilatômetro Sísmico (SDMT) para identificar regiões com solos colapsíveis ou para orientar pontos de coleta de amostras indeformadas. Neste contexto, este artigo apresenta uma revisão sistêmica dos critérios empregados na identificação de solos colapsíveis, bem como apresenta duas abordagens qualitativas baseadas em resultados de ensaios SCPT e SDMT. Empregou-se a razão entre o módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0) e a resistência de ponta do cone (q_c) versus resistência de ponta normalizada (q_{c1}) para o SCPT, e empregou-se a relação entre o índice de tensão horizontal (K_D) e a razão entre G_0 e o módulo confinado (M_{DMT}) determinado pelo ensaio SDMT.

PALAVRAS-CHAVE: Solos colapsíveis, SCPT, SDMT, Identificação.

ABSTRACT: Collapsible soils are susceptible to large volumetric deformation due to an abrupt change in the void ratio when the moisture content increases or when they are loaded and subsequently moistened. The most widely recognized criteria to identify collapsible soils are based on physical indices, but they are often restricted to the soils for which they were developed. In the laboratory, single and double oedometer tests are widely used to predict collapsible behavior. However, this requires undisturbed samples, and the sampling and preparation process can lead to disturbances and experimental errors when evaluating this behavior. One alternative is to use the Seismic Cone (SCPT) and/or Seismic Dilatometer (SDMT) to identify collapsible soils or guide sampling of potential collapsible soils. In this context, this article presents a systemic review of the criteria used to identify collapsible soils, as well as presenting two qualitative approaches based on the SCPT and SDMT tests. The ratio between the maximum shear modulus (G_0) and the cone tip resistance (q_c) versus the normalized tip resistance (q_{c1}) was used for the SCPT. The relationship between the horizontal stress index (K_D) and the ratio between G_0 and the confined modulus (M_{DMT}) was used for the SDMT.

KEYWORDS: Collapsible soils, SCPT, SDMT, Identification.

1 INTRODUÇÃO

Solos colapsíveis são suscetíveis a grandes variações volumétricas quando ocorre o aumento do teor de umidade do solo. Esses solos normalmente são não saturados, apresentam estrutura metaestável, baixa densidade, baixo teor de umidade, e alta resistência e rigidez em estado seco (Li et al., 2016).

Vários tipos de solos podem ser classificados como materiais colapsíveis, incluindo depósitos eólicos, aluviais e coluviais, solos residuais e aterros mal compactados (Vilar e Rodrigues 2011). As deformações devidas aos solos colapsíveis induzem recalques diferenciais que afetam edifícios e obras de infraestrutura.

Os solos colapsíveis são materiais não convencionais que devem ser identificados na fase inicial de caracterização geotécnica (Rocha et al. 2021, 2023). Os principais métodos disponíveis para a identificação desses solos baseiam-se em índices físicos ou em ensaios de laboratório. Os que se baseiam em índices físicos, normalmente restringem-se aos solos para os quais foram desenvolvidos. Já aqueles baseados em ensaios de laboratório (ensaios edométricos simples e duplos) necessitam de amostras indeformadas e o processo de amostragem e de preparação pode induzir perturbações e erros experimentais na avaliação do comportamento colapsível. Além disso, é difícil e trabalhoso coletar amostras em grandes profundidades.

Uma alternativa interessante seria empregar ensaios de penetração, como os ensaios de Cone Sísmico (SCPT) e Dilatômetro Sísmico (SDMT) para identificar regiões com solos colapsíveis ou para orientar a definição de pontos para a coleta de amostras para a realização de ensaios de laboratório. Neste contexto, este artigo apresenta uma revisão sistêmica das metodologias empregadas para a identificação de solos colapsíveis, bem como apresenta duas novas abordagens qualitativas baseadas nos ensaios SCPT e SDMT. Ensaios SCPT, SDMT e de laboratório previamente realizados em solos colapsíveis e não colapsíveis foram reinterpretados. Para o SCPT, empregou-se a razão entre o módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0) e a resistência de ponta do cone (q_c) versus resistência de ponta normalizada (q_{c1}). Para o SDMT, empregou-se a relação entre o índice tensão horizontal (K_D) e a razão entre G_0 e o módulo confinado (M_{DMT}) determinado pelo ensaio SDMT. Além disso, em ambos os casos é apresentado uma equação empírica e limites inferior e superior para definir regiões de solos colapsíveis e não colapsíveis.

2 IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS COLAPSÍVES

As metodologias normalmente empregadas na identificação de solos colapsíveis se baseiam em ensaios de laboratório, e podem ser qualitativas ou quantitativas. As qualitativas empregam limites de consistência e índices físicos ou uma combinação dos mesmos, enquanto os métodos quantitativos baseiam-se em ensaios edométricos simples ou duplos (Jennings e Knight, 1975; Gibbs e Bara, 1967). Ensaios de campo também podem ser empregados para o estudo do comportamento colapsível dos solos, onde podemos citar os ensaios de prova de carga em placa (Costa et al. 2003) e o expansocolapsômetro (Ferreira e Lacerda, 1993).

2.1 Critérios baseados em índices físicos e limites de consistência

A Tabela 1 mostra um resumo das diversas metodologias existentes para a identificação dos solos colapsíveis baseando-se em índices físicos e limites de consistência. Vale ressaltar que ainda há ábacos que permitem identificar solos colapsíveis, como aqueles apresentados por Gibbs e Bara (1967) e por Vilar e Rodrigues (2015) que também consideram índices físicos e limites de consistência. O primeiro relaciona o peso específico seco do solo (γ_d) com o limite de liquidez do solo (W_L) (Figura 1a). O segundo considera a relação entre o grau de compactação do solo (GC) e a variação do teor de umidade (Δw) (Figura 1b).

$$GC = \left(\frac{\rho_d}{\rho_{d,máx}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$\Delta w = w - w_{ótm} \quad (2)$$

onde ρ_d é a massa específica seca, $\rho_{d,máx}$ é a massa específica seca máxima e $w_{ótm}$ é o teor de umidade ótimo.

2.2 Ensaios edométricos

O ensaio edométrico é a técnica mais empregada na caracterização do colapso em laboratório. O procedimento de ensaio foi inicialmente apresentado por Jennings e Knight (1975). Os autores apresentaram a concepção metodológica para a realização dos ensaios edométricos simples e duplos. O ensaio edométrico simples consiste em preparar corpos de prova em condição natural, que em tensões predefinidas, eram inundados propositalmente, observando assim as deformações induzidas pela inundação (Figura 2a).

O trecho vertical da curva de compressão edométrica consiste no colapso do solo, o qual permite a determinação do potencial de colapso (PC) do solo (Equação 3). Já, o ensaio edométrico duplo, consiste em

preparar dois corpos de prova idênticos para a realização do ensaio, o primeiro mantendo o teor de umidade natural (de campo) e o outro inundado desde o início do ensaio (Figura 2b).

$$PC = \frac{\Delta e}{1+e_0} \cdot 100\% \quad \text{ou} \quad PC = \frac{\Delta H}{H} \cdot 100\% \quad (3)$$

sendo Δe a variação do índice de vazios devido a inundação, e_0 o  ndice de vazios inicial, ΔH a variação da altura do corpo de prova devido a inundação, e H a altura inicial do corpo de prova.

Tabela 1. Critérios de identificação de solos colapsíveis baseados em propriedades índices (adaptado de Futai 1997).

Expressão	Limites
$K = \frac{e_l}{e_0}$	0,5 < K < 0,75 – altamente colapsível K = 1,0 – não colapsível 1,5 < K < 2,0 – não colapsível
$KI = \frac{\left(\frac{w_0}{S_{r0}}\right) - W_p}{W_L - W_p}$	KI > 0,85 – colapsível
$\lambda = \frac{e_e - e_l}{1 + e_0}$	$\lambda \geq -0,1$ – colapsível
$K_d = \frac{W_L - w_0}{W_L - W_p}$	$K_d < 0,0$ – altamente colapsível $K_d > 0,5$ – colapsível $K_d > 1,0$ – expansivo
$R = \frac{w_{sat}}{W_L}$	R > 1 – colapsível
$K = \gamma_d \cdot w$	K < 15 – colapsível
(a) Cascalho fino	(a) – $S_r < 6,0$ – colapsível
(b) Areia fina	(b) – $S_r < 50,0$ – colapsível
(c) Silte argiloso	(c) – $S_r < 90,0$ – colapsível
$CI = \frac{e_0 - e_l}{1 + e_0}$ $S_r < 80\%$	Solos colapsíveis $1 \leq W_p \leq 10\% \Rightarrow CI < 0,10$ $10 \leq W_p \leq 14\% \Rightarrow CI < 0,17$ $14 \leq W_p \leq 22\% \Rightarrow CI < 0,24$
$PC_{m�x} = 4,2 \cdot \left(\frac{e \cdot \sqrt{S_r}}{A \cdot (1 + IP)}\right)^{0,6}$	Potencial de colapso (PC)

onde: K – coeficiente de subsidência; e_l –  ndice de vazios amolgado correspondente a W_L ; e_0 ou e –  ndice de vazios natural; KI – coeficiente de colapsibilidade; w_0 – umidade natural; S_{r0} ou S_r – grau de saturação; CP – potencial de colapso; c_u – coeficiente de uniformidade; γ_d – peso específico seco; σ_w – tensão de inundação do ensaio edométrico; w_{sat} – teor de umidade correspondente ao grau de saturação de 100%; W_L – teor de umidade correspondente ao LL; W_p – teor de umidade correspondente ao LP; A – teor de umidade em valor absoluto; IP –  ndice de plasticidade.

Atualmente, o estudo do comportamento mecânico dos solos colapsíveis é feito por meio de ensaios edométricos com sucção controlada, pois a imposição e o controle dessa variável é primordial para a análise da magnitude das deformações. Tal processo é realizado através da técnica de translação de eixos de Hilf (1956). A Figura 3 mostra a influência da sucção no ensaio edométrico. Cada par de curvas de um corpo de prova saturado ($s = 0$ kPa) e com sucção conhecida (25, 50, 75, 100, 200, e 400 kPa) pode ser considerado como um ensaio edométrico duplo, além de permitir observar a influência da sucção (ou do teor de umidade) no comportamento colapsível do solo, determinada através da diferenç a entre os índices de vazios a uma carga conhecida.

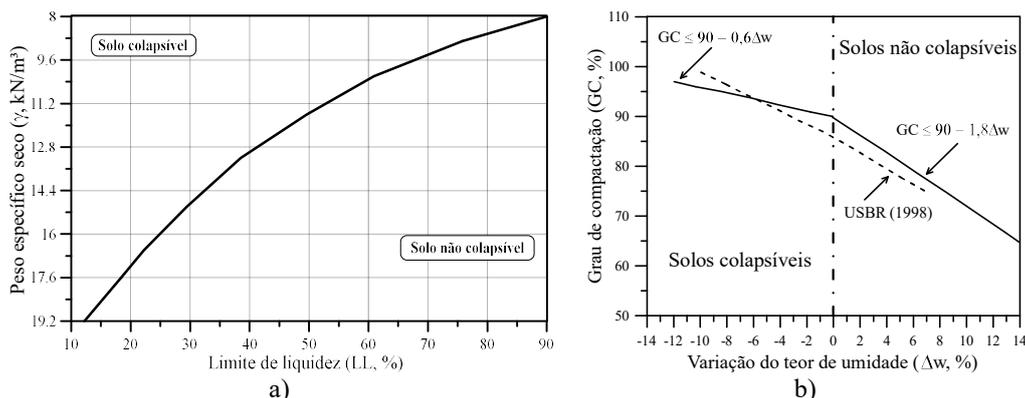


Figura 1. Métodos para identificar solos colapsíveis. a) Gibbs e Bara (1967); b) Vilar e Rodrigues (2015).

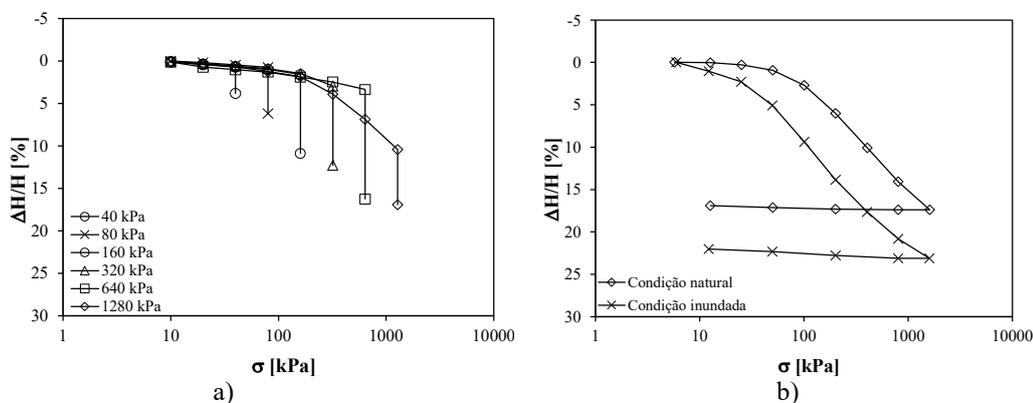


Figura 2. Resultados de ensaios edométricos simples (a) e duplos (b) (adaptado de Vilar e Rodrigues 2015).

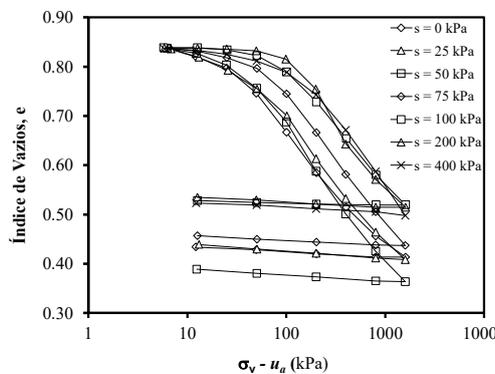


Figura 3. Ensaios edométricos para diferentes valores de sucção (adaptado de Vilar e Rodrigues 2011).

2.3 Ensaios de campo

A investigação do subsolo tem por objetivo definir o perfil estratigráfico (horizontes, espessuras e tipos de solos), posição do nível d'água e parâmetros mecânicos e hidráulicos das camadas de interesse (Rocha et al. 2021a). No estudo dos solos colapsíveis, os ensaios de campo são uma ferramenta muito interessante, uma vez que possibilitam a análise do comportamento in situ, evitando a possibilidade de erros relacionados ao processo de amostragem bem como de preparação das amostras. Entretanto, tais ensaios apresentam custo e tempo de execução elevado e são complexos de serem executados em horizontes mais profundos do subsolo.

2.3.1 Provas de carga

O estudo do comportamento colapsível dos solos também pode ser feito por meio da realização de provas de carga (PC) em placa, ou no próprio elemento de fundação (sapata, tubulão ou estaca), introduzindo-

se a inundação do solo, previamente ou durante a execução do ensaio. A partir da realização da prova de carga, é possível determinar a carga de colapso, sendo essa interpretada como a capacidade de carga (na umidade natural do solo) reduzida pela influência da inundação do solo. Quanto mais significativa for essa redução, mais suscetível ao colapso será a fundação. A carga de colapso é a condicionante de projeto, ao invés da carga de ruptura condicionada à umidade natural do terreno. A carga de colapso é determinada a partir da realização de PCs em condição inundada. Normalmente, realiza-se o ensaio com inundação prévia de no mínimo 24 h de antecedência em cava superficial de 0,5 a 1,0 m³ (Cintra et al. 1998). Pode-se também realizar o PC normalmente, e em cargas pré-definidas, realizar a inundação da cava.

Figura 4 apresenta resultados de duas provas de carga em placa realizadas a 0,6m da superfície do terreno (Figura 4a) e duas provas de carga realizadas em estacas escavadas mecanicamente com 6,0 m de comprimento e 0,25 m de diâmetro (Figura 4b). Observa-se nessa figura que após a inundação do solo, o colapso ocorreu.

Vale ressaltar que no estudo do comportamento colapsível do solo via provas de carga, a variável sucção deve ser incorporada, pois essa influenciará a carga de ruptura bem como os recalques das fundações. Neste sentido, a Figura 5a apresenta resultados de provas de carga em placa realizadas por Costa et al. (2003), demonstrando o efeito da sucção e da inundação no comportamento tensão-deformação de um solo colapsível.

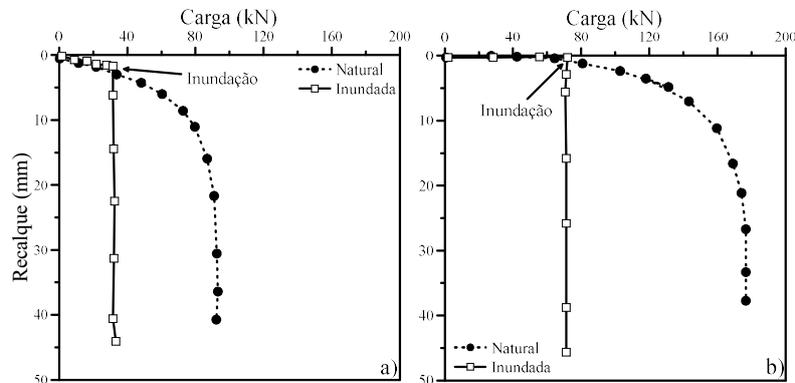


Figura 4. Provas de carga em condição natural e inundada. a) Prova de carga em Placa; b) prova de carga em estaca escavada mecanicamente (adaptado de Carvalho e Souza 1990)

2.3.2 Expansocolapsômetro

O expansocolapsômetro é um equipamento simples capaz de avaliar a variação de volume dos solos em diferentes profundidades, sendo possível realizar em campo ensaios similares aos edométricos simples e duplos de laboratório (Ferreira e Lacerda, 1993). Um furo é aberto com auxílio de um trado até a profundidade onde será realizado o ensaio, onde uma placa em miniatura é assentada. O equipamento é composto basicamente de uma parte similar ao ensaio de placa e uma outra responsável pelo controle de vazão (Figura 5b). O ensaio de placa acoplado ao ensaio é composto por hastes metálicas, mesa estabilizadora, rolamento vertical, pesos para transferência de carga e deflectômetros (Souza Neto, 2004). A inundação do solo é realizada por dois pequenos reservatórios de água, interligados a torneiras que permitem regular a vazão de saída de água. O carregamento é realizado em estágios até que uma determinada tensão de interesse seja alcançada. Nesse valor de tensão o solo é inundado e o PC do solo é avaliado a partir da Equação 3.

4 ENSAIOS SCPT E SDMT NA IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS COLAPSÍVEIS

Como previamente apresentado e discutido, o comportamento colapsível pode ser avaliado por meio de ensaios de campo e/ou de laboratório. Entretanto, estas técnicas apresentam custo e tempo de realização elevados, bem como são difíceis de serem realizados em horizontes mais profundos do perfil de solo. Uma abordagem interessante seria utilizar ensaios de Cone Sísmico (SCPT) e/ou Dilatômetro Sísmico (SDMT) na identificação de horizontes com solos colapsíveis bem como orientar a definição de pontos para a coleta de amostras indeformadas para a realização de ensaios de laboratório. Além disso, poucos estudos buscaram combinar a rigidez à pequena deformação (G_0) e a resistência de ponta (q_c) e os parâmetros intermediários determinados pelo ensaio DMT para identificar solos colapsíveis.

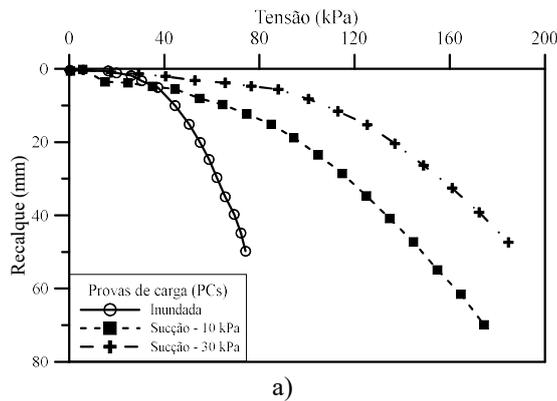


Figura 5. a) Ensaios de placa (Costa et al. 2003); b) Expansocolapsômetro (Ferreira e Lacerda 1993).

Os ensaios SCPT e SDMT permitem a identificação do perfil de solo através de ábacos de classificação que utilizam as grandezas medidas no ensaio (q_c , f_s , I_D , K_D e E_D), além da estimativa de parâmetros mecânicos (Robertson, 2016). Além disso, permitem a determinação do módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0), e, deste modo, correlações entre parâmetros independentes (G_0/q_c , G_0/E_D e G_0/M_{DMT}) têm sido formuladas para avaliar e identificar a presença de solos não convencionais, como os solos colapsíveis (Rocha et al. 2021b, 2023; Schnaid et al. 2020).

Solos colapsíveis são geomateriais não convencionais, que apresentam elevada porosidade e elevada rigidez à pequenas deformações em função das ligações entre partículas (cimentação/estrutura) e a sucção do solo, entretanto essa elevada rigidez é destruída devido às deformações impostas pela cravação da ponteira cônica (SCPT) e da lâmina (SDMT), o que acarreta elevados valores de G_0 e baixos valores de resistência de ponta (q_c) e módulo confinado obtido pelo DMT (M_{DMT}). Deste modo, a razão entre parâmetros obtidos a baixas deformações, como G_0 e um parâmetro tensão-deformação-resistência de campo, obtido a média a elevadas deformações, como q_c ou M_{DMT} , podem ser empregados na identificação de solos colapsíveis.

Neste sentido, buscou-se na literatura resultados de ensaios de dilatômetro plano (DMT), cone e/ou piezocone, sísmicos (down-hole ou cross-hole), de dilatômetro sísmico (SDMT) e cone sísmico (SCPT) realizados em solos colapsíveis e não colapsíveis. A partir desse levantamento, dois bancos de dados foram elaborados, um para ensaios SDMT, sísmicos e DMT, contemplando 24 áreas experimentais, e outro para ensaios SCPT, sísmicos e CPT, contemplando 21 áreas experimentais. Para ambos os casos, as áreas experimentais apresentavam solos arenosos, siltes e argilas siltosas. A partir desses dois bancos de dados foi possível determinar a relação entre G_0/q_c vs resistência de ponta normalizada pelo estado de tensões (q_{c1} – Equação 4) para o ensaio de cone sísmico, e a relação entre G_0/M_{DMT} vs K_D para o ensaio de dilatômetro sísmico. Para maiores informações referentes aos locais investigados consultar os trabalhos de Rocha et al. (2021b, 2023).

$$q_{c1} = \left(\frac{q_c}{p_a}\right) \cdot \sqrt{\frac{p_a}{\sigma'_v}} \quad (4)$$

onde p_a é a pressão atmosférica e σ'_v é a tensão efetiva.

O comportamento colapsível dos solos investigados foi definido por meio de resultados de ensaios edométricos simples e duplos, bem como por meio de informações da literatura. Utilizou-se o critério de Lutenegeger e Saber (1998), que considera que o solo é colapsível quando apresenta, no mínimo, um potencial de colapso (Equação 3) maior ou igual a 2%.

Os dados levantados foram plotados em dois gráficos log-log adimensionais visando identificar/definir regiões e limites que separam os solos colapsíveis dos solos não colapsíveis. A Figura 6a apresenta os dados plotados no espaço G_0/q_c vs q_{c1} e a Figura 6b os dados plotados no espaço G_0/M_{DMT} vs K_D . Estes limites são representados pelas Equações 5 e 6, respectivamente para os ensaios SCPT e SDMT.

$$G_0/q_c = A \times q_{c1}^{-B} \quad (5)$$

$$G_0/M_{DMT} = C \times K_D^{-D} \quad (6)$$

sendo A, B, C e D constantes função do tipo de solo.

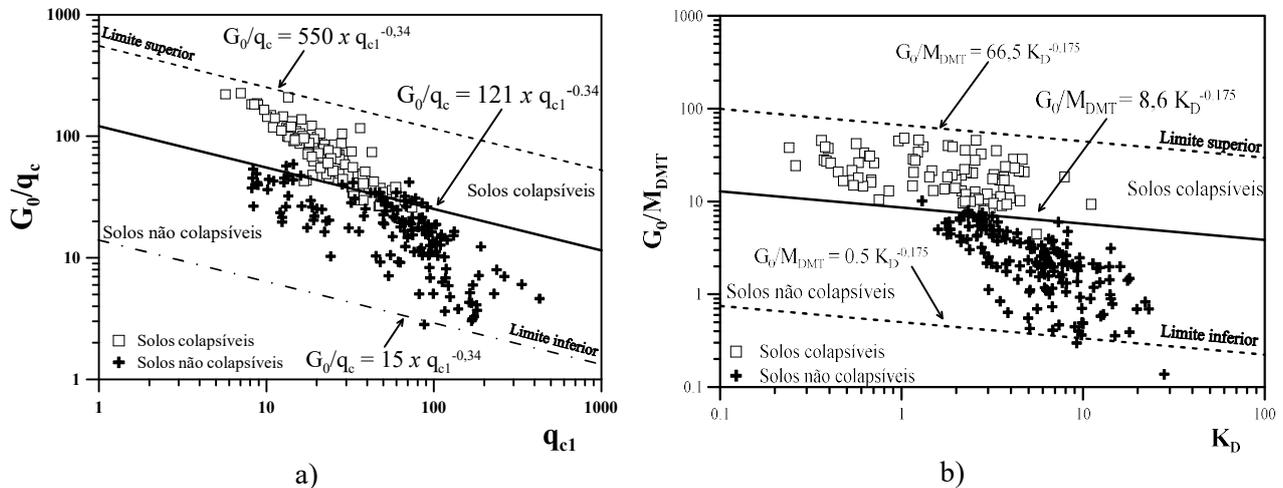


Figura 6. a) Limites superior e inferior que separam solos colapsíveis de solos não colapsíveis a partir da relação (a) G_0/q_c vs q_{c1} (a) e (b) G_0/M_{DMT} vs K_D (adaptado de ROCHA et al., 2021, 2023).

A linha limítrofe empregada para separar os solos colapsíveis dos não colapsíveis para os dois ábacos foi definida empiricamente, considerando os dados disponíveis. Utilizou-se a mesma inclinação para os limites inferior (solos não colapsíveis) e superior (solos colapsíveis), seguindo o trabalho de Schnaid e Yu (2007). A partir da Figura 6, se observa que há alguma dispersão dos dados, e que estes não estão corretamente identificados no que diz respeito à sua colapsibilidade. Tal comportamento pode estar relacionado com compressibilidade do solo, anisotropia, estado de tensão horizontal, cimentação e estruturação do solo, bem como pelo fato de que os valores de G_0 foram medidos empregando diferentes técnicas (crosshole e downhole), acarretando diferentes direções de propagação e polarização das ondas cisalhantes.

4 CONCLUSÕES

Os solos colapsíveis são suscetíveis a deformações volumétricas devido a uma brusca variação no índice de vazios quando ocorre um aumento do teor de umidade do solo ou ao serem carregados e posteriormente umedecidos. Tais solos devem ser identificados na fase de investigação preliminar a fim de evitar patologias nas edificações. Metodologias clássicas empregam ensaios de laboratório ou de campo para a identificação de solos colapsíveis. Tais metodologias tem custo elevado e são demoradas. Uma alternativa interessante é empregar os ensaios de campo, como o Cone Sísmico (SCPT) e o Dilatômetro Sísmico (SDMT) para identificar regiões com solos colapsíveis ou para orientar pontos de coleta de amostras indeformadas. Uma revisão sistêmica dos critérios empregados na identificação de solos colapsíveis foi apresentada, bem como duas abordagens qualitativas baseadas em resultados de ensaios SCPT e SDMT para a identificação de solos colapsíveis. Para o SCPT, empregou-se a razão entre o módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0) e a resistência de ponta do cone (q_c) vs resistência de ponta normalizada (q_{c1}). Para o SDMT, empregou-se a relação entre o índice tensão horizontal (K_D) e a razão entre G_0 e o módulo confinado (M_{DMT}) determinado pelo ensaio SDMT. Destaca-se que essas abordagens devem ser utilizadas durante a investigação preliminar para identificar solos potencialmente colapsíveis, ou definir horizontes que necessitam ser investigados em nível de detalhe no laboratório.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Procs. nº 2015/16270-0 e 2017/23174-5) e ao CNPq (Procs. nº 308895/2015-D e 436478/2018-8) pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvalho, D., Souza, A. (1990) Análise do efeito do umedecimento do solo em fundações rasas e profundas em solos porosos. In: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações – 11º COMBRANSEF, Salvador. *Anais... ABMS*. v. 2, p. 109-114.
- Cintra, J.C.A. (1998) *Fundações em Solos Colapsíveis*, 1ªed., RiMa Ates e Textos, São Carlos, Brasil, 116 p.
- Costa, Y.D., Cintra, J.C., Zornberg, J.G. (2003) Influence of matric suction on plate load tests results performed on lateritic soils *Geotechnical Testing Journal*, 26 (2), p.219-227.
- Ferreira, S.R.M., Lacerda, W.A. (1993) Variações de Volume em Solo Colapsível Medidas Através de Ensaio de Laboratório e de Campo. *Solos e Rochas*, 16 (4), p.245–253.
- Hilf, J.W. (1956) *An investigation of pore-water pressure in compacted cohesive soils*. Ph.D. thesis, Faculty of the Graduate, School of the University of Colorado.
- Futai, M.M. (1997). *Análise de ensaios edométricos com sucção controlada em solos colapsíveis*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE, 281 p.
- Gibbs, H.J., Bara, J.P. (1967) Stability Problems of Collapsing Soil. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, 93 (4), p.577–594.
- Jennings, J., Knight, K. (1975) A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to a Collapse of Grain Structure. In: IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban. *Anais... v. 1*, p. 99-105.
- Li, P., Vanapalli, S., Li, T. (2016) Review of collapse triggering mechanism of collapsible soils due to wetting. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8 (2), p.256–274. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.12.002>
- Lutenegger, A.J., Saber, R.T. (1988) Determination of collapse potential of soils. *Geotechnical Testing Journal*, 11(3), p.173–178. <https://doi.org/10.1520/GTJ10003J>
- Robertson, P.K. (2016) Cone Penetration Test (CPT)-Based Soil Behaviour Type (SBT) Classification System—An Update. *Canadian Geotechnical Journal*. 53 (12), p.1910–1927. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0044>
- Rocha, B.P., Rodrigues, R.A., Giacheti, H.L. (2021a) The Flat Dilatometer Test in an Unsaturated Tropical Soil Site. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39 (8), p. 5957-5969. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01849-1>
- Rocha, B.P., De Carvalho, R.A.L., Rodrigues, R.A., Giacheti, H.L. (2021b) Using a Seismic Dilatometer to Identify Collapsible Soils. *International Journal of Civil Engineering*, 20 (7), p. 857-867. <https://doi.org/10.1007/s40999-021-00687-9>
- Rocha, B.P., Silveira, I.A., Rodrigues, R.A., Lodi, P.C., Giacheti, H.L. (2023) Identifying collapsible soils from seismic cone (SCPT): a qualitative approach. *Buildings*, 13 (3), p. 1-12. <https://doi.org/10.3390/buildings13030830>
- Schnaid, F., Yu, H.S. (2007) Interpretation of the Seismic Cone Test in Granular Soils. *Géotechnique*, 57 (3), p.265–272. <https://doi.org/10.1680/geot.2007.57.3.265>
- Souza Neto, J.B. (2004) *Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (Colapso)*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE, 432 p.
- Vilar, O.M., Rodrigues, R.A. (2011) Collapse behaviour of soil in a Brazilian region affected by a rising water table. *Canadian Geotechnical Journal*, 48 (2), p.265-278. <https://doi.org/10.1139/T10-065>
- Vilar, O.M., Rodrigues, R.A. (2015) Revisiting Classical Methods to Identify Collapsible Soils. *Soils and Rocks*, 38 (3), p.265-278