

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Estudo da colapsividade de um solo superficial da cidade de Barreiras – BA

Marco Simão Preuss

Engenheiro Civil, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras-BA, Brasil, msspreuss1@gmail.com

Felipe Ferreira Sousa Junior

Engenheiro Civil, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras-BA, Brasil, lipaojs.lipaojs@gmail.com

Vinícius de Oliveira Kühn

Professor, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, Brasil, vinicius.kuhn@ufob.edu.br

Pedro Henrique Rocha Santana

Engenheiro Civil, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, prof.pedrosantana93@gmail.com

Simone Cristina Jesus de Moraes

Professora, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG, Brasil, simone.jesus@uftm.edu.br

RESUMO: A região oeste da Bahia apresentou um elevado crescimento econômico nas últimas décadas impulsionado principalmente pelo agronegócio, o que contribuiu para a expansão da construção civil. Nesse contexto, devido a observação de constantes recalques e patologias durante períodos chuvosos foi levantado a possibilidade da ocorrência de solos colapsíveis nesta região. Desse modo, o objetivo deste estudo é analisar a colapsividade de um solo superficial na cidade de Barreiras/BA, analisando os critérios envolvidos de forma qualitativa e quantitativa. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas no campus Reitor Edgar Santos da Universidade Federal do Oeste da Bahia para realização da análise. Em seguida foram efetuados ensaios de caracterização, ensaio de compactação, ensaio oedométrico e curva característica solo-água. O ensaio oedométrico foi realizado com inundação da amostra em 100 kPa e a curva característica solo-água foi determinada pelo método do papel filtro em trajetória de molhagem. A curva característica apresentou característica bimodal como é típico de solos residuais tropicais. A análise quantitativa classificou o solo como colapsível, assim como a maior parte dos critérios utilizadas na análise qualitativa.

PALAVRAS-CHAVE: solos colapsíveis; solos não saturados; ensaios de laboratório; curva característica solo-água

ABSTRACT: The Western region of Bahia has experienced high economic growth in recent decades, mainly due to agribusiness, which has contributed to the expansion of civil construction. In this context, because of the observation of constant settlements and pathologies during rainy periods it was raised the possibility of the occurrence of collapsible soils in this region. Thus, the aim of this study is to analyse the collapsibility of a topsoil in the city of Barreiras/BA, analysing the criteria involved in a qualitative and quantitative way. Disturbed and undisturbed samples were collected on the Reitor Edgar Santos campus of the Universidade Federal do Oeste da Bahia for the analysis. Afterwards, characterization tests, compaction test, oedometer test and soil-water characteristic curve were performed. The oedometer test was performed with flooding of the sample at 100 kPa and the soil-water characteristic curve was determined by the filter paper method in wetting path. The characteristic curve presented bimodal characteristic as it is typical of tropical residual soils. The quantitative analysis classified the soil as collapsible, as well as most of the criteria used in the qualitative analysis.

KEYWORDS: collapsible soils; unsaturated soils; laboratory tests; soil-water characteristic curve



1 Introdução

Recalques em fundações têm sido registrados em diversas partes do globo terrestre associados à diversos fatores. Dentre esses podem ser destacados: insuficiência na investigação do subsolo, presença de solos colapsíveis, presença de cavidades subterrâneas, erros de projeto, erros construtivos, eventos pós-conclusão, entre outros (Milititsky et al., 2015). Dentre esses fatores, a presença de solos colapsíveis se destaca como deflagrador recorrente de patologias (Li et al., 2016; Lollo, 2008).

Os solos colapsíveis se caracterizam por apresentar uma rápida diminuição de volume quando submetidos a tensões e posterior aumento de umidade (Fredlund et al., 2012; Jennings e Knight, 1975; Mitchell e Soga, 2005; Vilar and Rodrigues, 2015). A avaliação da colapsividade dos solos pode ser realizada de forma qualitativa, baseada na granulometria, limites de Atterberg, densidade, ou quantitativamente, por meio de ensaios duplo oedométrico ou oedométrico com inundação.

O comportamento colapsível é típico de solos não saturados com baixo peso específico. Estes solos incluem solos residuais, coluvionares, eólicos, aluviais e solos mal compactados (Brink e van Rooy, 2015; Fredlund et al., 2012; Houston et al., 2001; Mitchell e Soga, 2005; Vilar e Rodrigues, 2015, 2011). No Brasil, solos colapsíveis foram identificados em muitos estados (Cintra e Aoki, 2009; Lollo, 2008).

No entanto, o avanço econômico no Brasil ocorreu de maneira desigual ao longo de sua história. E muitos locais tiveram um avanço da construção civil, relativamente, de forma recente. Nesse contexto, o agronegócio impulsionou o crescimento econômico da região oeste da Bahia a partir da década de 1980, bem como a expansão da indústria da construção civil. A cidade de Barreiras se caracteriza como um polo econômico regional e possui um desenvolvimento urbano com obras dos mais variados portes.

A prática da engenharia da região oeste da Bahia tem verificado ao longo dos anos a ocorrência de elevados recalques em alguns locais após períodos chuvosos. Desse modo, foi levantada a possibilidade da presença de solos colapsíveis na região. Sendo assim, o objetivo deste estudo é analisar a colapsividade de um solo superficial situado na cidade de Barreiras/BA, analisando os critérios envolvidos de forma qualitativa e quantitativa. Além disso, por se tratar de um solo não saturado, é realizado o estudo da curva característica solo-água.

2 Programa Experimental

2.1 Caracterização da área de estudo e coleta de amostras

O município de Barreiras, localizado no extremo oeste do estado da Bahia (Figura 1a), é considerado atualmente como centro político, educacional e comercial na região. Possui uma população estimada pelo IBGE (2021) no valor de 158 432 habitantes em uma área de 7.538,152 km².

Barreiras está entre as coordenadas 11°37' - 12°25' S e 44°34' - 46°23' W. Limita-se a oeste com o município de Luís Eduardo Magalhães e o Estado de Tocantins, a leste com os municípios de Angical e Catolândia, ao norte com Riachão das Neves e ao sul com o município de São Desiderio. O clima do município é classificado como predominantemente seco, apresenta temperaturas elevadas durante todo o ano e possui estações chuvosas bem definidas com o inverno seco e verão chuvoso.

A geologia do município nas chapadas apresenta grande porcentagem do Grupo Urucua, que se caracteriza por sedimentos de origem eólica. O Grupo é uma formação intergranular, composto por unidade geológica sedimentar. Nos vales, há a presença de depósitos aluvionares, constituídos principalmente de areia e cascalho. Nos solos de Barreiras, há a predominância dos tipos Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, Neossolo Quartzarênico e solos hidromórficos associados às Veredas. Nas chapadas, são solos permeáveis de textura média e arenosa, saturados com alumínio trocável e nos vales, há associações de Cambissolos e Latossolos de textura argilosa (PASSO *et al.*, 2010).

Para a realização dos estudos de caracterização e potencial de colapso, a área escolhida para retirada de amostra está localizada na Universidade Federal do Oeste da Bahia, Campus Reitor Edgar Santos (Figura 1b). O solo possui característica de argila arenosa de cor vermelha clara e apresentou nas camadas superficiais N_{SPT} médio de 35 golpes. Neste local, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para realização dos ensaios laboratoriais.

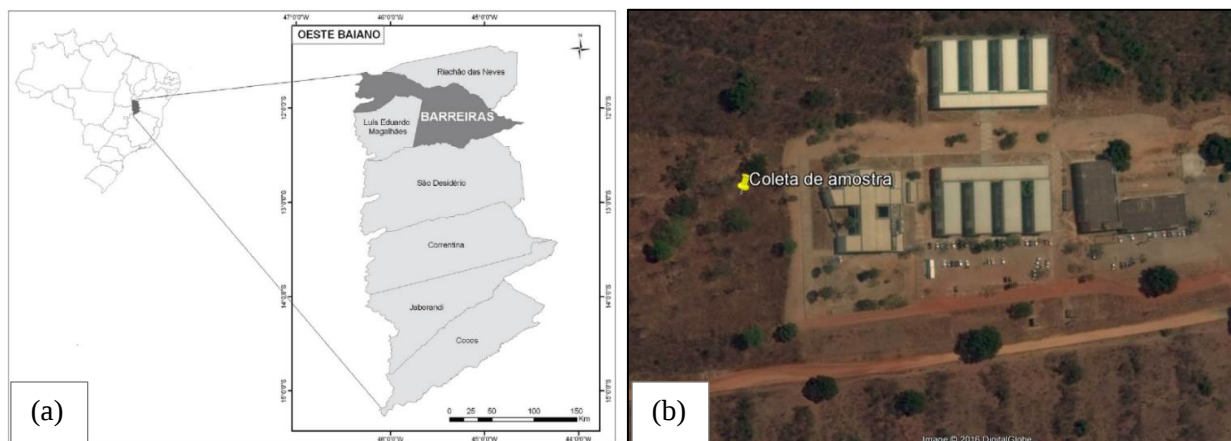


Figura 1. (a) Localização do município de Barreiras; (b) Local de coleta de amostra no campus Reitor Edgar Santos

2.2 Ensaios de laboratório

As amostras deformadas foram preparadas de acordo com NBR 6457 (ABNT, 2016a) e realizados os ensaios de compactação, NBR 7182 (ABNT, 2016b), massa específica dos grãos menores que 4,8 mm, NBR 6458 (ABNT, 2017a), análise granulométrica por peneiramento, NBR 7181 (ABNT, 2017b), limite de plasticidade e limite de liquidez, NBR 6459 (ABNT, 2016c) e NBR 7180 (ABNT, 2016d), respectivamente. O ensaio de compactação foi realizado com a energia Proctor Normal.

A partir das amostras indeformadas foram realizados ensaio oedométrico simples com inundação durante o ensaio e ensaio de papel filtro. O ensaio oedométrico simples foi realizado com a aplicação de carga em 7 estágios de 24 horas, sendo essas 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa e 800 kPa. Para os três primeiros carregamentos, o solo estava com umidade natural e, após 24 horas de carregamento com 100 kPa, foi realizada a inundação. Em seguida, continuou-se os três últimos carregamentos, mantendo-se a amostra inundada. O procedimento seguiu as recomendações de Jennings and Knight (1975) com tensão de inundação de 100 kPa.

Os ensaios de papel filtro foram realizados seguindo a metodologia proposta por Marinho (1994), em que as amostras são analisadas em termos de sucção matricial e sucção total, por meio do contato com papel (matricial) e sem contato (total). Foi utilizado o papel filtro Whatman nº 42 e calibração de Chandler *et al.* (1992). Após a aferição da umidade inicial todas as amostras foram secas ao ar livre durante sete dias, prazo para que atingissem em média 1% de umidade. Em seguida, adotou-se trajetórias de molhagem, uma vez que o processo de colapso se dá por umedecimento. Sendo assim, todas as amostras foram umedecidas, colocadas com o papel filtro e acondicionadas para que não houvesse perda umidade. Após um período de 7 dias foi determinada a sucção e a umidade final das amostras.

3 Resultados e discussão

3.1 Ensaios de caracterização e compactação

A partir do ensaio de granulometria observou-se a presença da fração areia em 70,1 %, sendo 7,7 % de areia média e 62,4 % de areia fina, e 29,9 % de fração de finos (argila e silte). O solo apresentou limite de plasticidade de 15%, limite de liquidez 25% e índice de plasticidade de 10%.

Pelo Sistema Unificado de Classificação (SUCS) o solo foi classificado como uma areia argilosa (SC) e pela classificação HBR (AASHTO) o solo enquadrou-se como A-2-4, também como uma areia argilosa ou siltosa. A massa específica dos grãos é de 2,678 g/cm³.

A curva de compactação do solo em energia Proctor Normal é apresentada na Figura 2. A umidade ótima encontrada foi de 13% para uma massa específica seca máxima no valor de 1,882 g/cm³. A amostra em campo apresenta massa específica seca de 1,53 g/cm³, valor muito abaixo da curva de compactação.

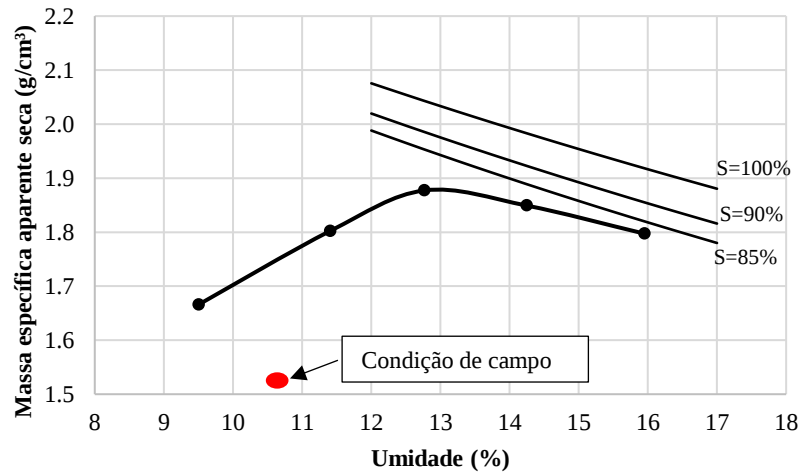


Figura 2. Curva de compactação.

3.2 Ensaio para determinação da curva característica solo-agua

A curva característica solo-água determinada pelo método do papel filtro em termos de grau de Saturação é apresentada na Figura 3. Os ajustes das curvas foram realizados pelo modelo de Gitirana e Fredlund (2004).

As curvas apresentam características bimodais, como é típico de solos de regiões tropicais devido a sua conformação estrutural. Em regiões de clima tropical a forte ação do intemperismo tende a formar solos bimodais, com presença de macro e micro poros. Ao se aumentar a sucção ocorre primeiramente a drenagem dos macroporos e posteriormente dos microporos. O primeiro valor de entrada de ar, correspondente a drenagem dos macroporos, se encontra em torno de 2 kPa, o segundo valor de entrada de ar, correspondente ao microporos se encontra em uma sucção de 7.000 kPa. A sucção residual encontra-se em torno de 35.000 kPa. Observa-se que as curvas características em termos de sucção total e matricial apresentam-se coincidentes até em torno de 100 kPa, a partir desse ponto a sucção matricial tende à saturação e a sucção total tende a uma sucção máxima de 70 kPa. Constatou-se ainda a dificuldade experimental de obter pontos acima de 60% de saturação pelo método utilizado, devido a rápida drenagem desses poros.

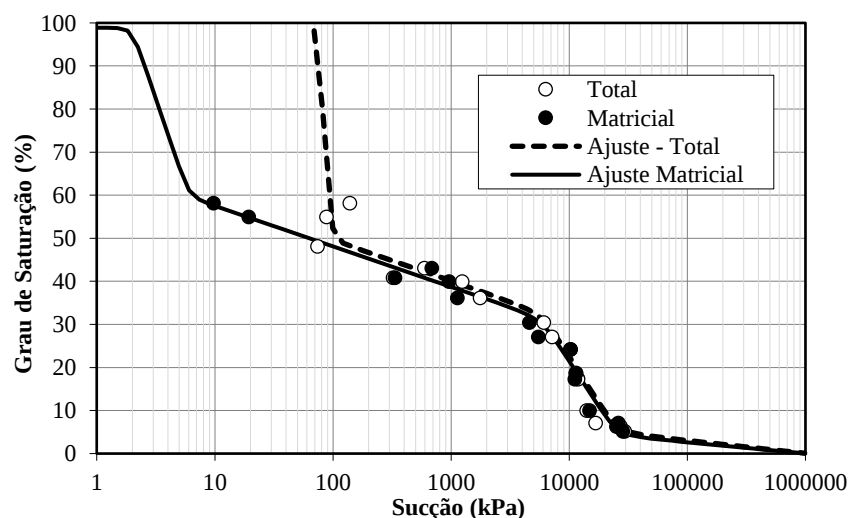


Figura 3. Curva de característica solo-água em termos de sucções totais e matriciais.



3.3 Ensaio Oedométrico

A curva de compressibilidade determinada pelo ensaio de adensamento com inundação na tensão de 100 kPa é apresentada na Figura 4. A curva possui coeficiente de compressão (C_c) de 0,22, coeficiente de recompressão (C_r) de 0,023 e coeficiente de recompressão inundado (C_{ri}) de 0,015. A diferença entre os coeficientes de recompressão 0,015 e 0,023, ocorre devido a inundação do corpo de prova no momento do ensaio.

Observa-se uma brusca variação de índice de vazios de 0,725 para 0,646 após a inundação, como é típico de solos colapsíveis.

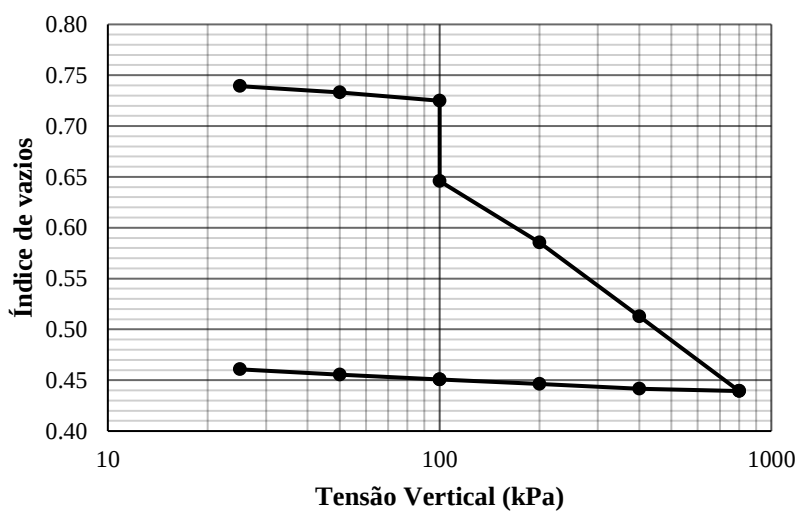


Figura 4. Curva de compressibilidade.

3.4 Classificação quanto ao potencial de colapso

A colapsividade pode ser analisada de forma quantitativa ou qualitativa. Os resultados das equações propostas para o solo de forma qualitativa podem ser visualizados na Tabela 1. Como as classificações de referência apresentadas não são embasadas em critérios definitivos, apenas indicativos, existem variações de conceito de cada autor para um mesmo tipo de solo e servem apenas como alerta de um possível potencial de colapso a partir de estudos básicos do solo. Os resultados encontrados apontam uma forte tendência do solo estudado ser colapsível.

Tabela 1. Resumo das classificações qualitativas de colapso do solo.

Referência	Resultados	Classificação
Denison (1951)	$K = 1,3$	Não Colapsível
Gibbs e Bara (1962)	$R = 1,12$	Colapsível
Feda (1966)	$K = 1,29$	Colapsível
Priklonskij (1952)	$K_d = 1,42$	Não Colapsível
Kassif e Henkin (1967)	$K = 16,58$	Não Colapsível
Jennings e Knight (1975)	$S_r = 0,39$	Colapsível

Como o possível colapso da estrutura de um solo não depende somente da sua umidade inicial e de suas demais propriedades físicas, mas também da intensidade da tensão aplicada sobre ela, faz-se necessário a verificação de determinar o colapso por métodos quantitativos. Dentre os métodos possíveis de investigação, foi escolhido o mais consolidado e representativo, que é a determinação do potencial de colapso por meio da abrupta redução do índice de vazios de um solo em função de um recalque obtido através de um ensaio de adensamento unidimensional. O solo estudado apresentou-se colapsível para os dois critérios, conforme pode-



se observar na Tabela 2. O que corrobora com as constatações de outros autores sobre a colapsividade dos solos da região oeste da Bahia (Burgos *et al.*, 2010; Mendonça, 1990).

Tabela 2. Potencial de colapso do solo

Referência	Resultados	Classificação
Vargas (1978)	$i = 4,58$	Colapsível
Jennings e Knight (1975)	$CP = 4,58$	Colapsível – Risco Moderado

4 Conclusão

O estudo da temática dos solos colapsíveis na região oeste da Bahia, em especial no município de Barreiras, ainda não é consolidado como prática para obras de engenharia. No entanto, patologias diversas têm sido observadas na região após períodos chuvosos. Sendo assim, o objetivo deste estudo é analisar a colapsividade de um solo superficial situado na cidade de Barreiras/BA, analisando os critérios envolvidos de forma qualitativa e quantitativa. Além disso, por se tratar de um solo não saturado, é realizado o estudo da curva característica solo-água.

O solo analisado é classificado como uma areia-argilosa e apresenta baixa plasticidade devido sua composição majoritária de areia. Em seus índices físicos, o mesmo apresenta elevado índice de vazios, alta porosidade e baixo grau de saturação, seguindo características peculiares dos solos colapsíveis. Além disso, o material apresenta curva característica bimodal com presença de macro e micro poros.

Com os resultados da caracterização geotécnica, foi possível classificar qualitativamente o potencial de colapso do solo por meio de critérios consolidados na literatura. Constatou-se o indicativo de ser um solo colapsível na maioria dos critérios citados. Por meio do ensaio de adensamento unidimensional, pode-se visualizar a instantânea queda nos índices de vazios ao se realizar a saturação do solo, permitindo-se calcular os valores dos coeficientes do potencial de colapso propostos pelos critérios de Vargas (1978) e Jennings e Knight (1975), a partir dos quais classifica-se o solo definitivamente como colapsível, atestando as evidências qualitativas e das características geotécnicas do solo.

Os resultados encontrados demonstram a necessidade do estudo do potencial de colapso em solos da cidade de Barreiras-Ba, servindo como base para a escolha do tipo de fundação a ser empregada nas obras da região bem como o correto dimensionamento de projetos de fundação, em especial as do tipo superficial. Dessa forma, sugere-se uma expansão deste tipo de análise em outros solos da região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) e a Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) pelo suporte dado na execução da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016a). *NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro/RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016b). *NBR 7182: Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro/RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016c). *NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro/RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016d). *NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro/RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2017a). *NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro/RJ.



- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2017b). *NBR 7181: Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro/RJ.
- Brink, G., van Rooy, J.L. (2015). *The influence of the geological origin on soil volume change through collapse settlement*. J. African Earth Sci. 101, 113–118.
- Burgos, P. C., Fonseca, E. C., Campos, L. E. P. (2010). *Estudo de Laboratório sobre o Colapso de Alguns Solos da Cidade de Barreiras – BA*. XV Congresso Brasileiro De Mecânica Dos Solos E Engenharia De Fundações. ABMS. 1-5.
- Chandler, R. J.; Crilly, M. S.; Montgomery; Smith, G. (1992). *A low-cost method of assessing clay desiccation for low rise buildings*. Proceedings..., Institute of Civil Engineering, v.36, n. 2, p. 82-89.
- Cintra, J.C.A., Aoki, N. (2009). *Projeto de fundações em solos Colapsíveis*. EESC-USP, São Paulo. 108 p.
- Denison, N.Y. (1951). *The Engineering Properties of Loess and Loess Loams*, Gosstroirzdat, Moscow, 136 p.
- Feda, J. (1966). *Structural stability of subsident loess Soil from Prahadejvice*. Engineering Geology, 3(3): 201-219.
- Fredlund, D.G., Rahardjo, H., Fredlund, M.D., 2012. *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons. Hoboken, Nova Jersey, USA, 939 p.
- Gibbs, H.J., Bara, J.P. (1962). *Predicting surface subsidence from basic soil tests*. Special Technical Publication, N° 322, ASTM, Philadelphia.
- Gibbs, H. J., Bara, J. P. (1967). *Stability Problems of Collapsing Soil*, Journal of the Soil Mech. And Found. Div. Vol. 93, n. SM4, p 577-594.
- Gitirana Jr, G. F. N.; Fredlund, D.G. (2004). *Soil-Water Characteristic Curve Equation with Independent Properties*. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering – ASCE., USA, v. 130, p. 209 – 212.
- Houston, S.L., Houston, W.N., Zapata, C.E., Lawrence, C. (2001). *Geotechnical engineering practice for collapsible soils*. Geotech. Geol. Eng. 19, 333–355.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2021). *Estimativa populacional 2021*. 28 de agosto de 2021.
- Jennings, J.E., Knight, K. (1975). *A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to a collapse of grain structure*. IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban, pp. 99-105.
- Li, P., Vanapalli, S., Li, T. (2016). *Review of collapse triggering mechanism of collapsible soils due to wetting*. J. Rock Mech. Geotech. Eng. 8, 256–274.
- Lollo, J.A. de (2008). *Solos colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas*. Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, São Paulo. 262 p.
- Marinho, F. A. M. (1994). *Medição de sucção com o método do papel filtro*. In: X Congresso Brasileiro De Mecânica Dos Solos E Engenharia De Fundações, 1994, Foz do Iguaçu. v.2. p. 515-522.
- Mendonça, M.B. (1990). *Comportamento de solos colapsíveis na região de bom Jesus da Lapa*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do rio de Janeiro / COPPE. 270 p.
- Milititsky, J., Consoli, N.C., Schnaid, F. (2015). *Patologia de Fundações*. 2° Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 256 p.
- Mitchell, J.K., Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*, 3rd Ed. John Wiley and Sons. Hoboken, Nova Jersey, USA, 592 p.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

- Passo, D. P., Martins, E. S., Gomes, M. P., Reatto, A., Castro, K. B., Lima, L. A. S., Junior, O. A. C., Gomes, R. A. T. (2010). *Caracterização geomorfológica do município de Barreiras, oeste baiano, escala 1:100.000*. DF: Embrapa Cerrados.
- Kassif, G. & Henkin, E.N. (1967). *Engineering and physic- chemical properties affecting pipping failure of loess dams in the Negev*. III Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation, Haifa, v. I, pp. 13-16.
- Priklonskij, V.A. (1952). *Gruntovenedie – Utoraira Chast*. Gosgeolizdat, Moscow. 371 p
- Vargas, M. (1978). *Introdução à Mecânica dos Solos*, São Paulo, Makron Books do Brasil Editora, 509 p.
- Vilar, O.M., Rodrigues, R.A. (2015). *Revisiting classical methods to identify collapsible soils*. Soils and Rocks 38, 265–278.
- Vilar, O.M., Rodrigues, R.A. (2011). *Collapse behavior of soil in a Brazilian region affected by a rising water table*. Can. Geotech. J. 48.