

Influência da Sucção nos Parâmetros de Compressibilidade de uma Areia Argilosa Laterítica

Renan Felipe Braga Zanin

Docente, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, renanzanin@uel.br

Alana Dias de Oliveira

Docente, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Brasil, alanaoliveira@utfpr.edu.br

Flávia Gonçalves Pissinati Pelaquim

Docente, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil, fgoncalves@professores.utfpr.edu.br

Pedro Henrique Lopes Dal-Cól

Docente, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, eng.pedro.dalcol@uel.br

Raquel Souza Teixeira

Docente, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, raquel@uel.br

RESUMO: Os recalques do solo podem resultar em uma série de problemas para as construções, podendo causar desconforto aos usuários ou, até mesmo, representar riscos para a própria estrutura. Diante disso, este trabalho tem como objetivo identificar a influência da sucção sobre os parâmetros de compressibilidade do solo de Tuneiras do Oeste/PR, classificado como areia argilosa, por meio de ensaios edométricos inundados e não inundados em amostras indeformadas não amolgadas. Ao todo, foram feitos 3 ensaios edométricos inundados e 4 não inundados, sendo trabalhadas 4 umidades iniciais: 5%, 7%, 9% e 11%. Observou-se uma grande influência da sucção sobre a tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) e o índice de compressão (C_c). Para a primeira, quanto maior a sucção, maior a σ'_{vm} . Já o segundo mostrou-se maior para os ensaios inundados e os não inundados com maiores umidades, ou seja, quanto menor a sucção, maior o C_c e, conseqüentemente, mais compressível o solo. Além disso, notou-se que existe um valor limite de sucção a partir do qual o C_c se mantém relativamente constante. Em relação ao coeficiente de compressibilidade (a_v) e coeficiente de variação volumétrica (m_v), os corpos de prova com teores de umidade mais baixos apresentaram valores menores devido à maior rigidez e sucção.

PALAVRAS-CHAVE: Sucção, Solo Não Saturado, Parâmetros de Compressibilidade, Curva Característica.

ABSTRACT: Soil settlement can result in a series of problems for buildings, causing discomfort to users or even posing risks to the structure itself. Therefore, this work aims to identify the influence of suction on the compressibility parameters of the soil of Tuneiras do Oeste/PR, classified as clayey sand, through flooded and non-flooded oedometer tests on undisturbed samples. In total, 3 flooded and 4 non-flooded oedometer tests were carried out, with 4 initial humidity levels being worked on: 5%, 7%, 9% and 11%. A great influence of suction on the pre-consolidation tension (σ'_{vm}) and the compression index (C_c) was observed. For the first, the greater the suction, the greater the σ'_{vm} . The second was higher for flooded and non-flooded tests with higher humidity, that is, the lower the suction, the higher the C_c and, consequently, the more compressible the soil. Furthermore, it was noted that there is a suction limit value beyond which C_c remains relatively constant. Regarding the compressibility coefficient (a_v) and volumetric variation coefficient (m_v), the specimens with lower moisture contents presented lower values due to greater stiffness and suction.

KEYWORDS: Suction, Unsaturated Soil, Compressibility Parameters, Characteristic Curve

1 INTRODUÇÃO

Os solos, devido à sua estrutura, podem sofrer deformações sob efeito de solicitações internas e externas, porém a magnitude e tempo de estabilização destas deformações são dependentes de fatores como o valor da tensão aplicada, a condição de umidade e as características intrínsecas a cada tipo de solo (GUTIERREZ, 2005).

Vargas (1978) define a compressibilidade do solo como a mudança de forma ou volume quando submetido a cargas externas. O resultado desta mudança física, denominado de recalque, pode acarretar prejuízos às edificações construídas sobre o solo, por meio de danos à estrutura e acabamentos, além de desconforto e risco ao usuário. Quando se analisa o comportamento de solos não saturados, a situação pode ser ainda mais complexa, uma vez que nesta condição existe uma pressão negativa na água dos poros, chamada de sucção, que diminui gradativamente com a saturação do meio (SOUZA NETO, 2004).

Os parâmetros mecânicos utilizados em projetos de fundações frequentemente são generalizados a partir de investigações pontuais do subsolo, o que muitas vezes desconsidera variações sazonais. Enquanto na Mecânica dos Solos clássica a variabilidade espacial ocorre na geometria das camadas e nas propriedades físicas e mecânicas dos solos totalmente secos ou saturados, nos solos não saturados essa variabilidade é ainda mais complexa, incluindo variações sazonais devido aos ciclos de umedecimento e secagem (SAAB e RODRIGUES, 2018).

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar a influência da sucção nos parâmetros de compressibilidade do solo de Tuneiras do Oeste, Paraná, Brasil, por meio de ensaios edométricos inundados e não inundados, com variação do teor de umidade inicial, utilizando como ferramenta complementar a curva característica solo-água.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O solo utilizado é do tipo residual, originário da região noroeste do estado do Paraná, próximo ao município de Tuneiras do Oeste, região sul do Brasil. Foram coletadas amostras indeformadas de um talude localizado no km 111+400 LD da Rodovia Federal BR-487, cujas coordenadas geográficas são 23°48'50,3"S e 52°59'58,8"W, a uma altitude de 410 metros.

Gonçalves *et al.* (2018) realizaram ensaios para determinação dos limites de liquidez e plasticidade, segundo as normas NBR 6459 (ABNT, 1984a) e NBR 7180 (ABNT, 1984c), respectivamente, e para obtenção da massa específica dos sólidos, segundo a NBR 6508 (ABNT, 1984b), cujos resultados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas do solo de Tuneiras do Oeste.

Característica física	Valor
Limite de Liquidez – LL (%)	20
Limite de Plasticidade – LP (%)	13
Índice de Plasticidade – IP (%)	7
Massa Específica dos Sólidos – ρ_s (g/cm ³)	2,89

Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.* (2018)

Zanin *et al.* (2024) realizaram ensaios de granulometria conjunta com e sem defloculante, segundo a NBR 7181 (ABNT, 1984d), obtendo os resultados mostrados na Tabela 2. A diferença de classificação entre os diferentes ensaios se dá devido à microagregação natural das partículas de argila que é destruída quando o solo é exposto ao defloculante, comportamento também observado por Araki (1997), Peixoto *et al.* (2001) e Teixeira *et al.* (2004).

Tabela 2. Composição e classificação granulométrica do solo de Tuneiras do Oeste.

Ensaio	Fração Granulométrica			Classificação Granulométrica
	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	

Com defloculante	21	4,7	32	Areia argilosa
Sem defloculante	2	23,7	34	Areia siltosa

Fonte: Adaptado e traduzido de Zanin *et al.* (2024)

Os mesmos autores publicaram a curva característica do solo de Tuneiras do Oeste, em sua estrutura indeformada, em função do teor de umidade volumétrica, como mostra a Figura 1. A curva foi obtida pela trajetória de secagem e a determinação da sucção matricial foi feita por meio de dois métodos diferentes: câmara de pressão de Richards (para suções abaixo de 1000 kPa) e papel filtro. Os pontos experimentais foram ajustados pelo modelo de Gitirana e Fredlund (2004).

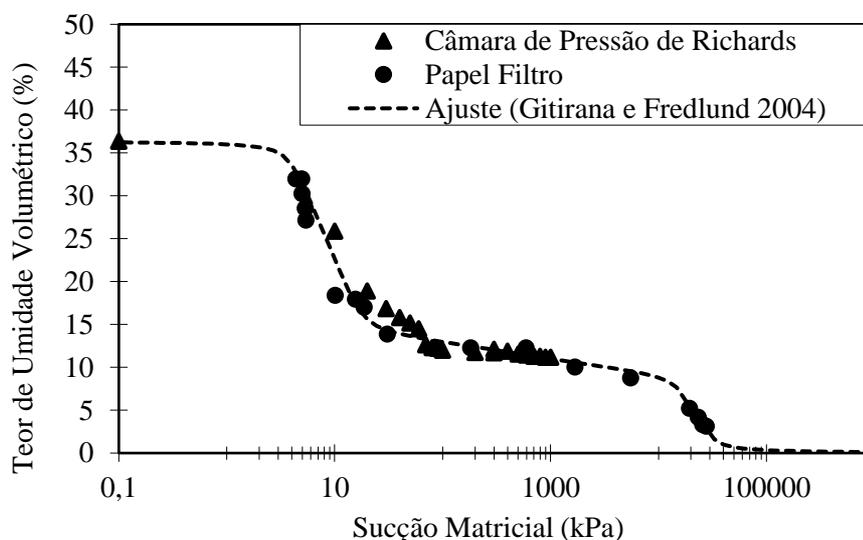


Figura 1. Curva característica do solo de Tuneiras do Oeste.

Fonte: Traduzido de Zanin *et al.* (2024)

2.2 Métodos

2.2.1 Escolha dos Teores de Umidade de Ensaio

Foram definidos valores de teores de umidade gravimétricos para a avaliação da influência da sucção nos parâmetros de compressibilidade do solo. Definiu-se os teores de umidade de campo ($w \approx 9\%$) e mais três, dois situados abaixo e um acima da umidade de campo ($w \approx 5\%$ e 7% , e 11%). Os corpos de prova foram talhados na umidade de campo e, para os ensaios não inundados, umedecidos ou secados para que atingissem as umidades escolhidas.

Estes teores de umidade gravimétricos foram convertidos em valores volumétricos para estimativa da sucção a partir da curva característica, apresentada na Figura 1. Sendo assim, obteve-se um ponto com sucção baixa, próximo do VEA_1 e do início do patamar intermediário, ainda no trecho de dessaturação dos macroporos; dois pontos no patamar intermediário, onde não há grandes variações de teor de umidade com o acréscimo de sucção; e um ponto próximo do final do patamar intermediário, no início do trecho de dessaturação dos microporos, conforme Tabela 3, onde w é o teor de umidade gravimétrico definido, θ é o teor de umidade volumétrica convertido e $\Psi_{estimada}$ é a sucção matricial estimada pela curva característica.

Tabela 3. Teores de umidade adotados e respectivos valores de sucção.

w (%)	θ (%)	$\Psi_{estimada}$ (kPa)
11,0	16,1	18

9,0	13,2	80
7,0	10,3	2500
5,0	7,3	16000

2.2.2 Ensaios Edométricos

Os corpos de prova de amostras indeformadas usados nos ensaios edométricos foram talhados com o auxílio de um anel metálico de aproximadamente 8 cm de diâmetro e 3,2 cm de altura, garantindo o não amolgamento dos mesmos. Foi utilizado uma prensa de compressão confinada unidirecional (Figura 2), com a seguinte sequência de montagem da câmara: base, pedra porosa seca ao ar, papel filtro, corpo de prova dentro do anel, papel filtro, pedra porosa seca ao ar, cilindro centralizador do conjunto e cabeçote. As pedras porosas têm a função de faces drenantes do corpo de prova ensaiado e o papel filtro tem apenas a finalidade de impedir a colmatção das pedras porosas por partículas de solo.

Os ensaios foram realizados com estágios de carregamento de 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 e 1280 kPa e descarregamentos de 640, 320, 160 e 10 kPa, segundo a norma D2435 (ASTM, 2011), com intervalos de 15 minutos por carregamento, a fim de se evitar o máximo de perda de umidade. Ao todo, foram realizados 3 ensaios inundados e 4 não inundados.

No caso dos ensaios inundados, a câmara foi preenchida com água destilada até que o corpo de prova estivesse completamente submerso, sendo feita uma leitura de deformação vertical depois, de no mínimo, 12 horas, a fim de se obter a variação da altura do corpo de prova apenas sob a influência da inundação. Decorridas as 12 horas, os carregamentos foram iniciados. Já os ensaios não inundados, para que o corpo de prova perdesse o mínimo de umidade possível, a câmara foi coberta com filme plástico logo após sua montagem e posicionamento na prensa, permanecendo assim ao longo de todo o procedimento.

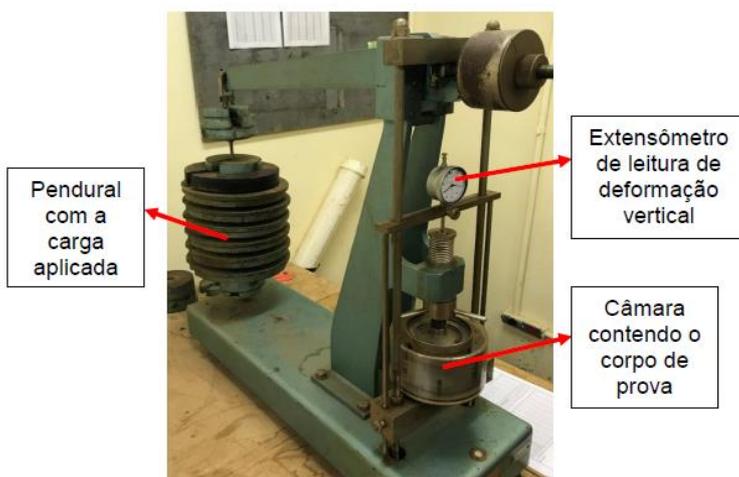


Figura 2. Prensa de compressão confinada unidirecional montada.

A partir das curvas de compressão obtidas das leituras dos ensaios, foram encontrados os parâmetros de compressibilidade do solo de Tuneiras do Oeste nas condições não inundada e inundada. A tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}) foi obtida pelo método de Pacheco Silva (SILVA, 1970), o índice de compressão (C_c) e o coeficiente de compressibilidade (a_v) foram obtidos graficamente; e o coeficiente de variação volumétrica (m_v), foi calculado a partir da relação com o a_v por meio da Equação 1, onde e_0 é o índice de vazios inicial do corpo de prova.

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0} \quad (1)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor entendimento dos diferentes corpos de prova e ensaios, foi definido uma sigla para cada um, conforme mostrado na Tabela 4, onde também estão os índices físicos antes e depois dos ensaios edométricos. Observa-se a semelhança entre os corpos de prova, indicada pelos baixos valores de coeficiente de variação (PHOON e KULHAWY, 1999; DUNCAN, 2000; BAECHEER e CHRISTIAN, 2003; BRANCO *et al.*, 2014), quando se compara os valores de massa específica, massa específica seca, índice de vazios e porosidade antes dos ensaios, garantindo a homogeneidade entre as amostras.

Tabela 4. Índices físicos dos corpos de prova.

Índice Físico		Ensaio						CV (%)	
		Inundado			Não Inundado				
		I - 1	I - 2	I - 3	NI - 11	NI - 09	NI - 07		NI - 05
w (%)	Antes	8,89	8,48	8,59	10,98	9,12	6,96	4,95	-
	Depois	15,33	15,08	15,11	10,71	9,15	6,48	5,17	-
ρ (g/cm ³)	Antes	1,54	1,56	1,61	1,56	1,52	1,60	1,49	2,73
	Depois	2,11	2,11	2,18	1,92	1,86	1,69	1,57	-
ρ_d (g/cm ³)	Antes	1,41	1,44	1,49	1,41	1,40	1,49	1,42	2,66
	Depois	1,83	1,84	1,89	1,73	1,71	1,59	1,50	-
e	Antes	1,05	1,01	0,95	1,05	1,07	0,94	1,03	5,02
	Depois	0,59	0,57	0,52	0,66	0,68	0,82	0,92	-
η (%)	Antes	51,17	50,31	48,59	51,28	51,69	48,40	50,83	2,62
	Depois	37,10	36,11	34,37	39,92	40,61	45,01	47,93	-
Sr (%)	Antes	24,56	24,20	26,27	30,16	24,63	21,45	13,82	-
	Depois	75,10	77,12	83,39	46,56	38,67	22,88	16,24	-

Nota: I = Ensaio Inundado, NI = Ensaio Não Inundado, CV = Coeficiente de Variação.

A Figura 3 mostra as curvas de compressão obtidas pelos ensaios edométricos. Nota-se que, no geral, não é possível definir claramente o ponto de mudança entre as deformações elásticas (trecho de recompressão) e elasto-plásticas (reta virgem). Tal comportamento também foi observado por Vaughan (1988) e Souza Neto (2004), sendo justificado pela existência de estágios intermediários de escoamento do solo à medida que as ligações entre as partículas são destruídas, até alcançar o trecho da reta virgem, onde as deformações são mais significativas. Além disso, é possível observar que o solo se torna mais compressível com valores menores de sucção, tendendo a convergir para as curvas dos ensaios inundados, com sucção próxima de 0 kPa.

Nota-se que, como discutido por Jennings e Knight (1957), Gutierrez (2005) e Lollo (2008), o início das curvas não coincidem devido à variação do índice de vazios inicial entre os corpos de prova. Para se resolver tal questão, fez-se a normalização das curvas, dividindo os índices de vazios de cada estágio de carregamento pelo índice de vazios inicial de cada corpo de prova, resultando nas curvas apresentadas na Figuras 4

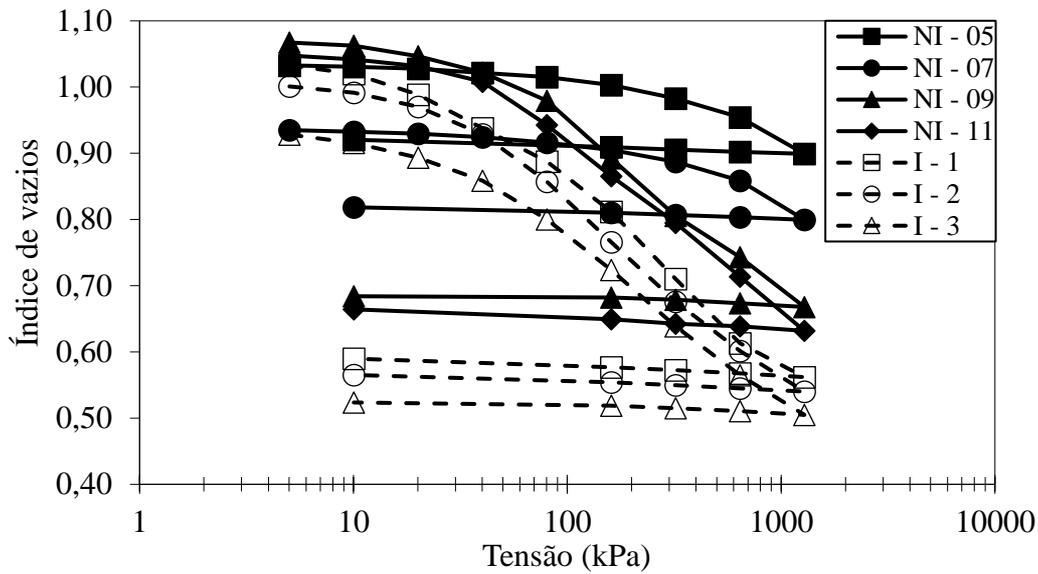


Figura 3. Curvas de compressão.

Nota: I = Ensaio Inundado, NI = Ensaio Não Inundado

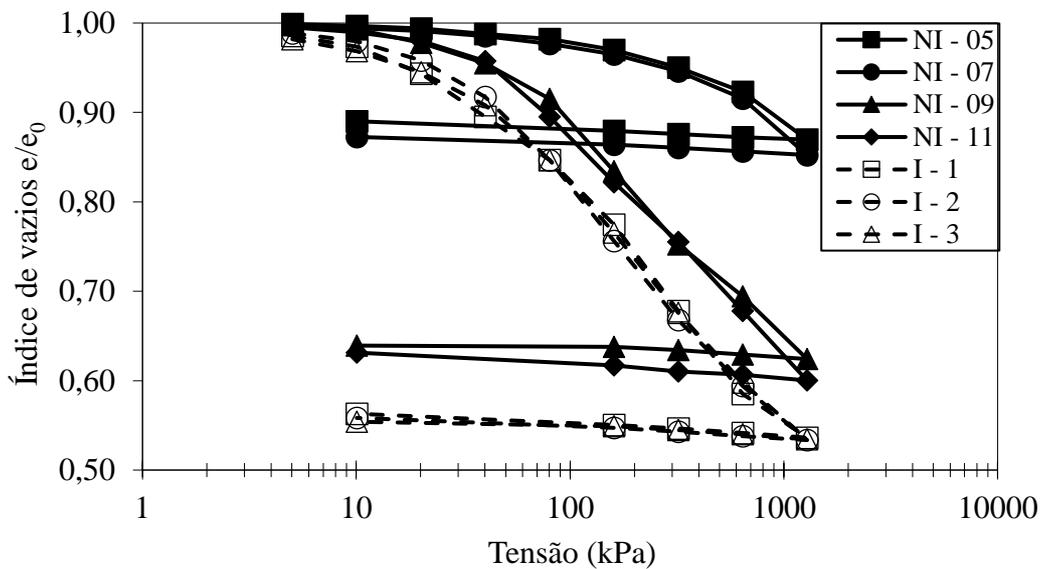


Figura 4. Curvas de compressão normalizadas.

Nota: I = Ensaio Inundado, NI = Ensaio Não Inundado

A partir das curvas, obteve-se os valores dos parâmetros de compressibilidade do solo: tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}), índice de compressão (C_c), coeficiente de compressibilidade (a_v) e coeficiente de variação volumétrica (m_v), apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros de compressibilidade do solo de Tuneiras do Oeste.

Condição de Inundação	Ensaio	Parâmetros			
		σ'_{vm} (kPa)	C_c	a_v (kPa ⁻¹)	m_v (kPa ⁻¹)
Não Inundado	NI - 05	167,06	0,12	$9 \cdot 10^{-5}$	$4,42 \cdot 10^{-5}$
	NI - 07	161,43	0,12	$1 \cdot 10^{-4}$	$5,16 \cdot 10^{-5}$
	NI - 09	73,54	0,34	$2 \cdot 10^{-4}$	$9,66 \cdot 10^{-5}$
	NI - 11	68,87	0,33	$2 \cdot 10^{-4}$	$9,74 \cdot 10^{-5}$
Inundado	I - 1	44,31	0,35	$2 \cdot 10^{-4}$	$9,77 \cdot 10^{-5}$
	I - 2	49,31	0,37	$2 \cdot 10^{-4}$	$9,94 \cdot 10^{-5}$

I - 3 45,51 0,32 2.10^{-4} $1,03.10^{-4}$

A tensão de pré-adensamento foi maior para a condição não inundada, sugerindo a influência das forças das ligações cimentícias e da sucção em tal parâmetro, além de indicar que o solo inundado sofre maiores deformações submetido a menores sobrecargas. Além disso, quando se observa a σ'_{vm} dos ensaios não inundados com diferentes umidades, nota-se uma relação direta entre este parâmetro e a sucção, ou seja, quanto maior a sucção (solo mais seco), maior a tensão de pré-adensamento (GUTIERREZ *et al.*, 2008; VILAR e RODRIGUES, 2011; BENATTI e MIGUEL, 2013; SAAB e RODRIGUES, 2018).

O índice de compressão se mostrou maior para os ensaios inundados e os não inundados com maiores umidades, cujos valores de sucção ao fim do ensaio foram próximos, indicando que a presença de uma maior quantidade de água tornou a estrutura do solo mais compressível devido à redução da sucção e da quebra das ligações entre os grãos (SOUZA NETO, 2004; ARAUJO *et al.*, 2016; SAAB e RODRIGUES, 2016; SOARES e RODRIGUES, 2018). Este comportamento indica novamente a influência da sucção neste parâmetro e mostra que existe um valor de sucção a partir do qual, mesmo reduzindo-o, o C_c se mantém relativamente constante.

Em relação ao coeficiente de compressibilidade (a_v) e ao coeficiente de variação volumétrica (m_v), o comportamento foi o mesmo: para os ensaios com menores umidades (e maiores sucções), estes parâmetros se mostraram menores, indicando a maior rigidez do solo e apresentando menores deformações ao longo do ensaio.

4 CONCLUSÕES

Primeiramente, pôde-se observar a semelhança entre todos os corpos de prova utilizados, mesmo havendo certa heterogeneidade do solo. Os coeficientes de variação dos índices físicos iniciais foram baixos, validando a comparação entre as amostras.

Em relação aos ensaios edométricos, os corpos de prova ensaiados na condição inundada se mostraram mais deformáveis, com valores de índice de compressão maiores e tensões de pré-adensamento menores, indicando que a perda de sucção interferiu nos valores desses parâmetros.

Observando o coeficiente de compressibilidade e o de variação volumétrica, o mesmo comportamento foi observado, onde os ensaios com menores umidades apresentaram menores valores deste parâmetro, indicando a maior rigidez devido à sucção.

Por fim, os resultados mostraram a influência da sucção sobre o comportamento compressível do solo de Tuneiras do Oeste, mostrando que as análises em relação à condição não saturada são importantes a fim de se ter maior precisão e eficiência no uso do solo nas obras de engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, A.G., Borges, C.R., Alves, E.C., Alves, R.C., Correchel, V. (2016) Análise da colapsividade de um solo tropical da região de Goiânia-GO. *Revista Mirante*, 9 (1), p. 216-226.
- Araki, M.S. (1997) *Aspectos relativos às propriedades dos solos porosos colapsíveis do Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 121 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984a) NBR 6459. *Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984b) NBR 6508. *Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984c) NBR 7180. *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984d) NBR 7181. *Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- ASTM International (2011) ASTM D2435: *Standard test methods for one-dimensional consolidation properties of soils using incremental loading*.

- Baecher G., Christian J. (2003) *Reliability and statistics in geotechnical engineering*. John Wiley&Sons Ltd., Chichester, England.
- Benatti, J.C.B., Miguel, M.G. (2013) A proposal of structural models for colluvial and lateritic soil profile from southwestern Brazil on the basis of their collapsible behavior. *Engineering Geology*, p. 1-11.
- Branco L.P., Gomes A.T., Cardoso A.S., Pereira C.S. (2014) Natural variability of shear strength in a granite residual soil from Porto. *Geotechnical and Geological Engineering*, 32, p.911–922.
- Bulut, R., Lytton, R.L., Wray, W.K. (2001) Soil suction measurements by filter paper. *Expansive Clay Soils And Vegetative Influence On Shallow Foundations*, p. 243-261.
- Duncan J. (2000) Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(4), p.307–316.
- Gitirana, G.F.N., Fredlund, D.G. (2004) Soil-water characteristic curve equation with independent properties. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130 (2), p. 209-212.
- Gonçalves, F., Zanin, R.F.B., Somera, L.F., Oliveira, A.D., Ferreira, J.W.S., Branco, C.J.M.C., Teixeira, R.S. (2018) Caracterização físico-química e mineralógica de três solos do estado do Paraná. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, Salvador, BA. *Anais... ABMS*.
- Gutierrez, N.H.M. (2005) *Influência de aspectos estruturais no colapso de solos do norte do Paraná*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 325 p.
- Gutierrez, N.H.M., Nóbrega, M.T., Vilar, O.M. (2008) Influence of the microstructure in the collapse of a residual clayey tropical soil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68 (1), p. 107-116.
- Jennings, J.E., knight, K. (1957) The Additional Settlement of Foundations due to a Collapse of Structure of Sand Subsoils on Wetting. In: 4th ISSMFE. *Anais... p. 316-319*.
- Lollo, J.A. (2008) *Solos colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas*. Cultura Acadêmica, São Paulo, SP, Brasil.
- Marinho, F.A.M. (1997) Medição de Sucção em Solos. In: Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Rio de Janeiro. *Anais... Freitas Bastos*, p. 373-397.
- Peixoto, R.J., Feitosa, J.H.P., Gitirana, G.F.N., Cunha, R.P., Carvalho, J.C. (2001) Superfície de estado do solo poroso colapsível do Distrito Federal (Brasil). In: 4º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Porto Alegre. *Anais... ABMS*, p. 96-109.
- Phoon K-K., Kulhawy F.H. (1999) Characterization of geotechnical variability. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(4), p.612–624.
- Saab, A.L., Rodrigues, R.A. (2016) Análise da colapsibilidade de um solo arenoso por meio de ensaios com sucção controlada. In: 8th Congresso Uruguaio de Geologia, Montevideo, Uruguai. *Anais...*
- Saab, A.L., Rodrigues, R.A. (2018) Parâmetros de compressibilidade de um perfil de solo arenoso colapsível. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, Salvador, BA. *Anais... ABMS*.
- Silva, P.F. (1970) Um novo método para determinação da pressão de pré-adensamento. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Rio de Janeiro. *Anais... ABMS*.
- Soares, F.V.P., Rodrigues, R.A. (2018) Análise dos parâmetros de resistência e de compressibilidade de uma areia argilosa não saturada nos estados natural e compactado. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, Salvador, BA. *Anais... ABMS*.
- 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, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE, 468 p.

- Teixeira, R.S., Belincanta, A., Lopes, F.F., Gutierrez, N.H.M.; Branco, C.J.M.C. (2004) Avaliação do Colapso do Solo da Camada Superficial da Cidade de Londrina/PR. In: V Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, São Carlos. *Anais...* ABMS, p. 495-499.
- Vargas, M. (1978) *Introdução à Mecânica dos Solos*, vol. 1, McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP, Brasil, 509 p.
- Vaughan, P.R. (1988) Characterizing the mechanical properties of in situ residual soil. General report, session 2. In: 2nd International Conference on Geomechanics Tropical Soils, Cingapura. *Anais...*
- Vilar, O.M., Rodrigues, R.A. (2011) Collapse behavior of soil in a Brazilian region affected by a rising water table. *Canadian Geotechnical Journal*, 48 (2), p. 226-233.
- Zanin, R.F.B., Kondo, A.M., Pelaquim, F.G.P., Oliveira, A.D., Machado, S.L., Andrello, A.C., Teixeira, R.S. (2024) The impact of gradual increase in moisture on the collapse of Brazilian clayey sand soil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82:36, p. 1-15.