

Influência da Estrutura nas Curvas Características de Dois Solos Residuais de Granito

Marcelo Heidemann

Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, marcelo.heidemann@ufsc.br

Luiz Antônio Bressani

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, bressani@ufrgs.br

Wai Ying Yuk Gehling

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, gehling@ufrgs.br

Juan Altamirano Flores

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, juan.flores@ufsc.br

Mattheus Porto

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, mathheus_porto@hotmail.com

RESUMO: Este trabalho discute a influência da estrutura nas curvas de retenção solo-água (curvas características) de dois solos residuais de granito formados em ambiente subtropical. Um dos solos apresenta natureza saprolítica (aqui denominado GrSp) e o outro exhibe comportamento laterítico (denominado GrLt). Ambos materiais ocorrem em uma encosta no município de São José, na Região Metropolitana de Florianópolis (SC), a qual apresenta extenso histórico de movimentos gravitacionais de massa. Para tal, curvas de retenção solo-água foram obtidas para amostras indeformadas e remoldadas, por meio da técnica do papel-filtro. As curvas de retenção solo-água para o solo saprolítico foram modeladas como unimodais, mas o solo laterítico requereu o emprego de curvas bimodais por conta da estruturação desenvolvida pela lateritização em escalas micro e macro. Os níveis de sucção medidos no solo GrLt foram superiores aos medidos no solo saprolítico. O processo de remoldagem modifica os níveis de sucção atingidos, o que se deve a ação da estrutura, e mais especificamente ao tamanho dos poros no solo remoldado. A ocorrência de histerese foi verificada em ambos os solos, mas foi muito mais pronunciada no solo laterítico. Análises de porosimetria por injeção de mercúrio foram realizadas no solo GrSp e mostraram que a remoldagem gera uma distribuição de poros diferente da existente no solo indeformado.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Tropicais, Curvas de Retenção, Porosimetria, Solos Estruturados

1 INTRODUÇÃO

As propriedades geomecânicas de solos residuais podem ser afetadas pela existência de macro e microestruturas formadas a partir do intemperismo (IRFAN, 1998). Para Mitchell e Soga (2005) a estrutura refere-se ao efeito combinado do arranjo das partículas, grupos de partículas e poros no solo, composição e forças interpartículas. Conceito similar é apresentado

por Fookes (1997) e Collins e McGown (1974).

Segundo Leroueil e Vaughan (1990), embora a origem da estrutura de um solo possa ser complexa e advir de várias causas, os efeitos de sua existência são similares e podem ser descritos de forma simples e generalista.

Wesley (1990) e Leroueil e Vaughan (1990) utilizam o termo estrutura para referir-se a aqueles aspectos do solo que são peculiares ao mesmo em seu estado indeformado, como

ligações interpartículas ou cimentação, e que são eliminadas com a remoldagem do solo.

Assim, a investigação dos efeitos da estrutura frente ao comportamento dos solos pode se dar por meio da avaliação de possíveis diferenças exibidas em ensaios conduzidos em corpos de prova indeformados, ou naturais, obtidos de amostragens de boa qualidade, e em corpos de prova amolgados, remoldados e reconstituídos, os quais não preservariam elementos macroestruturais.

Miguel e Vilar (2009) e Vanapalli et al. (1999) mencionam que a retenção de água por parte do solo depende de muitos aspectos, tais quais: quantidade tamanho e distribuição dos poros, textura do solo e mineralogia. Assim, a estrutura gerada na formação de solos residuais pode também ter efeitos nas sucções mobilizadas nestes materiais quando em condição não-saturada.

Embora exista uma quantidade significativa de trabalhos que reportem a determinação de curvas características para solos residuais, a maioria o faz com base ou em corpos de prova compactados (Oh et al., 2012; Lee et al., 2005; Hossain e Yin, 2010; Rahardjo et al., 2004; Vanapalli et al., 2009; Kim e Kim, 2010) ou em corpos de prova indeformados (Aung et al., 2001; Gan e Fredlund, 1996; Miguel e Vilar, 2009; Miguel e Bonder, 2012; Agus et al., 2001 e Futai e Almeida, 2005)

No entanto, são poucos os trabalhos que discutem os efeitos da perda de estrutura às curvas características. Nesse sentido cita-se o trabalho de Ng e Pang (2000), que determinaram curvas características para solos vulcânicos de Hong Kong em corpos de prova indeformados e recompactados.

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta os resultados obtidos quando da determinação de curvas características para dois solos tropicais, residuais de granito, oriundos do sul do Brasil, um com comportamento saprolítico e outro com comportamento laterítico, em ensaios em corpos de prova indeformados e remoldados.

2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO ESTUDADO

Os materiais estudados são solos residuais de granito, oriundos do município de São José – SC

(Figura 1). Estes solos ocorrem em uma mesma encosta, a qual apresenta cerca de 120 m de altura e tem sofrido sucessivos processos de instabilidade. A área onde foram coletados os solos estudados, encontra-se sob coordenadas médias 732.370 E e 6.948.100 S, e altitude média de cerca de 53 m acima do nível do mar.



Figura 1. Localização da área estudada.

As elevações desta região são compostas por granitos oriundos do Neoproterozoico que formam o Cinturão Dom Feliciano (Philipp e Machado, 2001; Bitencourt et al., 2008).



Figura 2. Exposições dos solos estudados

Um destes solos apresenta natureza saprolítica e aqui é denominado GrSp. Este material ocorre em toda a área da encosta, mas em maior parte como um horizonte subjacente ao segundo solo aqui estudado, denominado GrLt. Este solo apresenta feições típicas de solos lateríticos, embora não possa ser considerado uma laterita.

A forma com que tais materiais ocorrem na área de estudo pode ser verificada na Figura 2, enquanto a Figura 3 mostra mais claramente o aspecto apresentado por estes materiais.



Figura 3. Aspecto dos solos GrSp (esquerda) e GrLt (direita)

Os índices físicos dos solos estudados são apresentados na Tabela 1 e as curvas granulométricas são mostradas na Figura 4.

Tabela 1. Propriedades físicas e classificação dos solos estudados.

	GrSp	GrLt
G	2,625	2,699
w_{nat} (%)	29,0	30,0
γ_{nat} (kN/m ³)	16,84	15,65
γ_d (kN/m ³)	13,04	12,05
γ_{sat} (kN/m ³)	17,88	17,39
e	0,97	1,20
Sr (%)	78,5	67,0
LL	42	60
IP	18	24
USCS	ML	MH

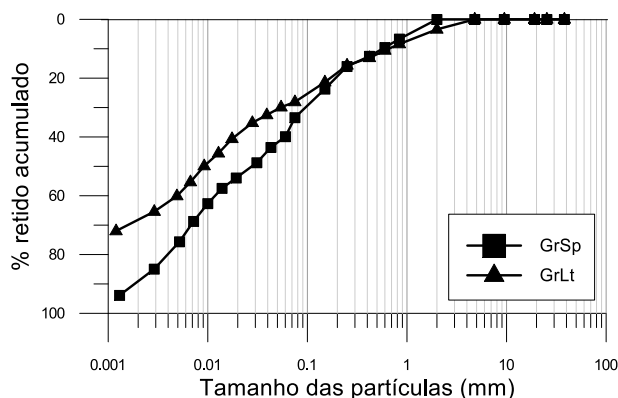


Figura 4. Curvas granulométricas dos solos estudados

O solo GrLt é mais argiloso que o solo GrSp, apesar de naquele primeiro as partículas de argila apresentarem-se naturalmente sob a forma de grumos concrecionados, o que lhe confere uma textura grosseira. Contudo, ao se desagregar tais grumos, a natureza argilosa deste solo reflete-se na curva granulométrica e no maior IP.

Do ponto de vista mineralógico estes materiais apresentam composições distintas (Tabela 2) embora sejam originários da mesma rocha mãe, evidenciando os diferentes estágios de alteração em que encontram.

Tabela 2. Composição mineralógica dos materiais estudados (dados semi-quantitativos de análises por difração de raios-X)

	GrSp	GrLt
Quartzo	13 %	30 %
Plagioclásio	68 %	24 %
Biotita	-	19 %
Caulinita	13 %	27 %
Clorita	8 %	

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Curvas características

A determinação das curvas características foi efetuada por meio da técnica do papel-filtro e baseou-se nas recomendações da norma ASTM D5298/2010, bem como em sugestões feitas por Feuerhamel (2007), fundamentadas em experiência em solos tropicais do sul do Brasil.

Foram determinadas as curvas de retenção dos solos GrSp e GrLt, em corpos de prova indeformados e remoldados. Os corpos de prova remoldados foram produzidos de forma que apresentassem índice de vazios, densidade e teor de umidade similar ao do material em condição indeformada. Os corpos de prova foram confinados por anéis poliméricos de diâmetro interno igual a 50 mm e altura de 20 mm.

Nesta pesquisa utilizou-se papel-filtro tipo Whatman nº 42, que de acordo com Marinho (2000) tem capacidade de absorção de umidade da ordem de 6% a 175% (sucções entre 3 kPa e 29.000 kPa). A correlação do nível de sucção (Ψ) com umidade do papel (w_f) foi feita com base nas Fórmula 1 (quando $w_f < 45,3$) e Fórmula 2 (quando $w_f \geq 45,3$), propostas na ASTM D5298/2010.

$$\log \psi = 5,327 - 0,0779 \cdot w_f \quad (1)$$

$$\log \psi = 2,413 - 0,0135 \cdot w_f \quad (2)$$

Apesar de a referida norma citar que tais equações são válidas para medida da sucção total, Marinho e Oliveira (2006) demonstraram

que existe apenas uma curva de calibração para o método do papel-filtro, independentemente do tipo de sucção que está sendo medido.

Diferentemente do proposto na ASTM D5298/2010, o ensaio foi feito com o papel-filtro posicionado sobre um único corpo de prova, e não sob a forma de uma sequência solo-papel-solo, com dois elementos de solo compondo um corpo de prova. Tal procedimento tem como vantagem a necessidade de uma menor quantidade de solo para o ensaio e a facilidade em controlar a umidade de um único corpo de prova. Esta proposição foi sugerida em Feuerharmel (2007).

Os papéis-filtro foram posicionados sobre o solo e em contato com este, medindo-se assim sucção matricial. Em cada corpo de prova foram posicionados dois fragmentos de papel-filtro, cada um com 2 cm² de área, bem como um papel de interface entre o fragmento de papel destinado à medida da sucção e o solo.

A primeira determinação de sucção foi feita em condição natural de umidade. Em seguida executou-se um ciclo de umedecimento, um ciclo de secagem e posterior umedecimento

3.2 Análises porosimétricas

A porosimetria por injeção de mercúrio tem sido empregada por diversos pesquisadores para a investigação dos aspectos estruturais desenvolvidos em solos, vide Diamond (1970), Sasanian e Newson (2013), Griffiths e Joshi (1989), Lapierre et al. (1990), entre outros.

A distribuição, tamanho e conectividade dos poros pode ser utilizada para definir propriedades mecânicas e hidráulicas de solos ou outros meios granulares (TUGRUL, 1997; ROMERO et al. 1999).

Foram preparadas duas amostras do solo GrSp para análise. Uma delas foi extraída de um bloco indeformado. A segunda amostra foi obtida de um corpo de prova remoldado com solo desagregado em um anel similar ao utilizado para determinação das curvas características. Ambas amostras apresentaram similares índices físicos.

Após moldados os corpos de prova foram secos ao ar e posteriormente em estufa a 40°C. Alguns autores reportam que em argilas a secagem em estufa não é a mais apropriada, pois promove contração do solo e redução dos poros (Sasanian e Newson, 2013; Aung et al, 2001,

Griffiths e Joshi, 1989), sobretudo quando as amostras são preparadas por reconstituição, sob a forma de lama. Neste caso, os referidos autores reportam o emprego da secagem pelo processo de congelamento da amostra e posterior sublimação da água.

Justifica-se o uso de secagem ao ar neste trabalho porque na determinação das curvas características a secagem é feita da mesma maneira. Deve-se considerar que a sucção medida sob um dado grau de saturação reflete os efeitos da contração que resultam da secagem do solo, e por isso são inerentes ao processo. Além disso, por não se tratar de amostras moldadas reconstituídas como lama, verificou-se contração pouco expressiva durante a secagem.

Na execução do ensaio foi utilizado o equipamento denominado AutoPore IV – Micromeritics, e os procedimentos tomados durante os ensaios são os descritos pela norma ISO 15901-/ 2005. As medidas de volume intrudido foram feitas em modo *stepwise*. Os parâmetros do mercúrio utilizados na interpretação do ensaio são: densidade de 13,54, tensão superficial da ordem de 0,485 N/m e ângulo de contato de 130°.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 mostra as curvas características obtidas para o solo GrSp em condição indeformada e remoldada.

Tanto no material indeformado quanto no solo remoldado é possível constatar que há diferença entre as curvas de secagem e umedecimento, denotando a ocorrência de histerese. As curvas de secagem mostram-se acima das curvas de umedecimento. No caso do solo indeformado, valores de sucção inferiores a 1 kPa passam a ocorrer quando a umidade volumétrica é superior a 90%, o que corresponde a um teor de umidade gravimétrico de 31% e grau de saturação de 78%. No caso do solo remoldado, o mesmo ocorre sob umidade volumétrica de 70%.

Quando comparado o comportamento do solo indeformado e remoldado percebe-se que a degradação do solo durante a remoldagem reduz os níveis de sucção mobilizados. Assim, sob mesma condição de umidade o solo indeformado desenvolve níveis de sucção mais elevados que o solo remoldado.

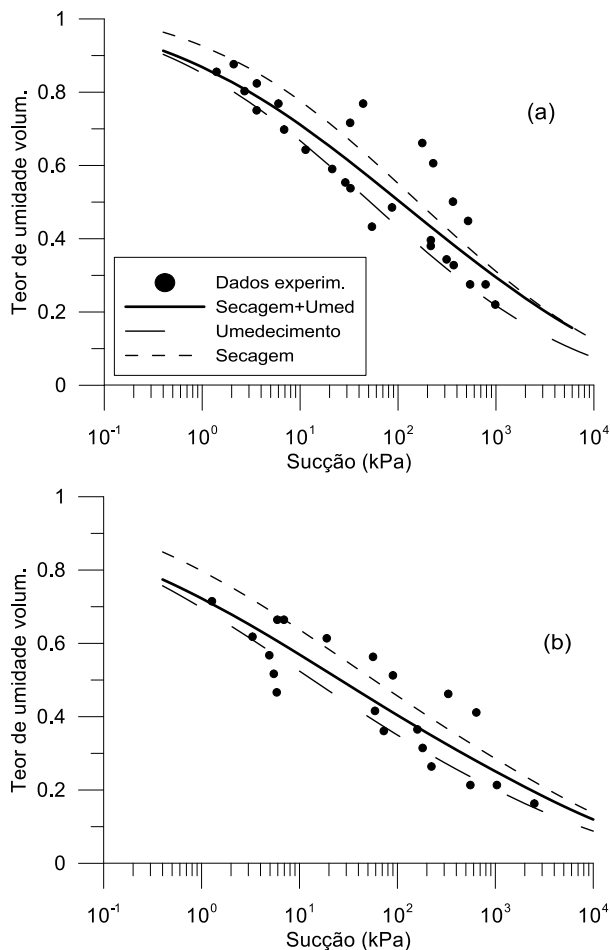


Figura 5. Curvas características do solo GrSp (a - indeformado; b - remoldado).

As curvas características para expressar as relações entre sucção e saturação dos solos GrSp correspondem ao modelo proposto por Fredlund e Xing (1994), conforme Equação 3. Os parâmetros utilizados nos ajustes são mostrados na Tabela 3.

$$\theta = \theta_s \left[\frac{1}{\ln \left[e + \left(\frac{\psi}{a} \right)^n \right]} \right]^m \cdot \left[1 - \frac{\ln \left(1 + \frac{\psi}{\psi_r} \right)}{\ln \left(1 + \frac{10^6}{\psi_r} \right)} \right] \quad (3)$$

Onde: θ – teor de umidade volumétrica θ_s – teor de umidade volumétrica na saturação; ψ – sucção; ψ_r – sucção sob umidade residual; a, m, n – parâmetros de ajuste.

Tabela 3. Parâmetros de ajustes das equações de curvas características do solo GrSp.

	Indeformado			Remoldado		
	S/U	Sec.	Umed.	S/U	Sec.	Umed.
a	72,51	74,72	71,00	13,68	13,68	13,68
n	0,351	0,416	0,375	0,295	0,321	0,287
m	0,976	0,854	1,171	0,886	0,784	1,078
θ_{sat}		1,056			1,011	

A Figura 6 mostra as curvas características relativas ao solo GrLt

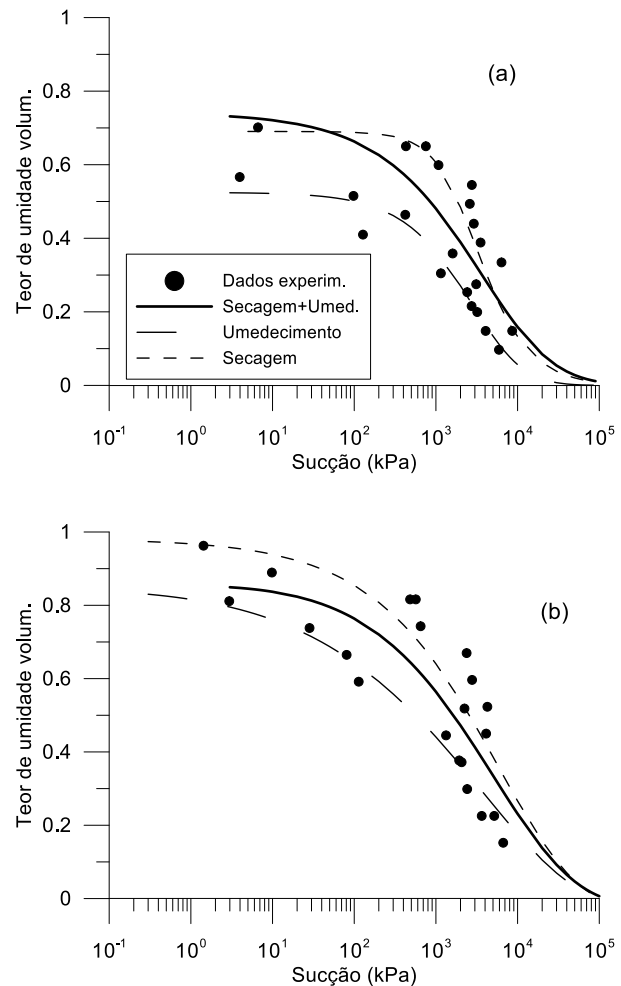


Figura 6. Curvas características do solo GrLt (a – indeformado; b – remoldado).

Neste material observa-se forte histerese quando em condição indeformada, enquanto que no solo remoldado o fenômeno é menos pronunciado.

Em condição indeformada, para teores de umidade volumétrica superiores a 75% (grau de saturação maior que 65%), pequenas sucções são medidas, em geral, inferiores a 10 kPa

Comparando os resultados dos ensaios no solo indeformado e remoldado é possível verificar que as curvas ajustadas remetem ao desenvolvimento de sucções maiores no solo remoldado que no solo indeformado. Estes resultados são opostos aos obtidos no solo GrSp.

O solo GrLt apresenta comportamento ao qual o modelo de Fredlund e Xing (1994) não se adequa, sugerindo a necessidade de curvas bimodais. Nesse sentido, Feuerharmel et al.

(2006) e Carvalho e Leroueil (2000) apontam que as curvas unimodais podem não representar o comportamento de muitos solos de origem residual ou sedimentar encontrados em regiões de clima tropical e subtropical.

Segundo Feuerharmel (2007), isto se dá porque esses solos frequentemente apresentam macroestrutura e microestrutura bem definidas, sendo compostos por partículas de argila agregadas de tal forma que se assemelham, em tamanho, a grãos de silte ou areia.

A forma da curva característica desses materiais sugere uma distribuição bimodal de tamanho de poros: macroporos entre os agregados de argila, e microporos no interior destes. Por conta disso adotou-se um segundo modelo, proposto por Fredlund (1999), destinado à modelagem de curvas bimodais (Equação 4).

$$\theta = \theta_s \left[\frac{s_1}{\ln \left[e + \left(\frac{\psi}{a_1} \right)^{n_1} \right]^{m_1}} - \frac{1-s_1}{\ln \left[e + \left(\frac{\psi}{a_2} \right)^{n_2} \right]^{m_2}} \right] \cdot \left[1 - \frac{\ln \left(1 + \frac{\psi}{\psi_r} \right)}{\ln \left(1 + \frac{10^6}{\psi_r} \right)} \right] \quad (4)$$

Onde: s – grau de saturação que divide a curva em níveis altos e baixos de sucção; θ – teor de umidade volumétrica θ_s – teor de umidade volumétrica na saturação; ψ – sucção; ψ_r – sucção sob umidade residual; a , m , n – parâmetros de ajuste.

Os parâmetros utilizados nos ajustes são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros de ajustes das equações de curvas características do solo GrSp.

	Indeformado			Remoldado		
	S/U	Sec.	Umed.	S/U	Sec.	Umed.
a_1	24000	2283	10000	8000	15000	10000
n_1	0,600	1,800	0,907	0,5	0,5	0,364
m_1	3,00	0,550	3,00	1,2	1,45	1,416
a_2	45000	45000	45000	44689	44633	40000
n_2	0,08	0,08	0,08	0,104	0	0,05
m_2	25	25	25	0,927	0,747	0,744
S_1	0,5	0,46	0,35	0,770	0,793	0,762
ψ_{res}	12000	12000	12000	12000	12000	12000
θ_{sat}		1,483			1,465	

Embora se tenha empregado um modelo bimodal, não foi possível fazer o ajuste de uma curva ao longo de uma larga faixa de tensões, de forma que se tivesse uma curva bimodal “clássica”. Isto porque: (i) já sob níveis de umidade maiores que 27% a sucção cai a níveis

inferiores a 1 kPa, não sendo mais válida a técnica do papel filtro e; (ii) níveis de sucção superiores à 8 MPa não foram atingidos nos ensaios, requerendo outras técnicas.

Comparando as Figuras 5 e 6 se verifica histerese mais pronunciada no solo GrLt que no solo GrSp, tanto em condição indeformada quanto remoldada. Não existem claras evidências sobre a causa, mas é possível correlacionar uma menor histerese entre curvas de umedecimento e secagem com a menor quantidade de finos no solo e consequentemente menor nível de intemperismo.

A Figura 7 mostra as curvas características para ambos os solos plotadas em um mesmo espaço. Estas curvas correspondem ao ajuste que considera os dados experimentais obtidos nas trajetórias de secagem e umedecimento, conjuntamente.

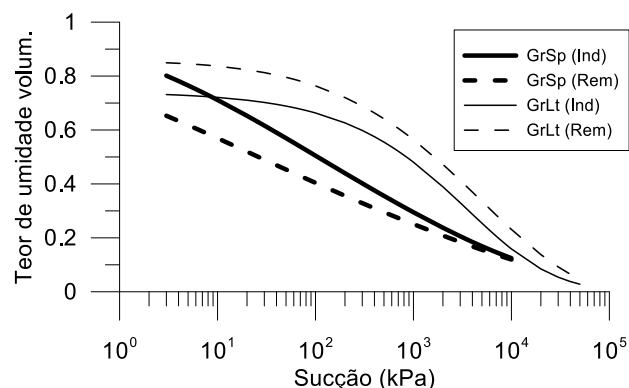


Figura 7. Curvas características dos solos GrSp e GrLt.

Observa-se que as sucções mobilizadas são maiores para o solo com maior quantidade de finos e mais intemperizado, tanto quando indeformado quanto remoldado. No entanto, para teores de umidade volumétricos maiores que 70%, o solo GrSp é capaz de manter sucção levemente superior ao solo GrLt, se comparados os corpos de prova indeformados.

A Figura 8 mostra a distribuição de poros para o solo GrSp, em condições indeformada e remoldada. Nesta fica clara a diferença existente na distribuição dos poros nos dois corpos de prova. Poros de dimensões entre 10^3 e 10^4 nm são menos frequentes quando o solo é remoldado, mas uma grande quantidade de poros entre 10^4 e 10^5 nm são gerados no processo.

Isso significa que a remoldagem torna os poros do solo maiores que aqueles encontrados no solo

indeformado. Poros maiores são menos capazes de sustentar altas sucções, e por isso as curvas características obtidas no corpo de prova remoldado indicaram sucções mais baixas que aquelas obtidas no solo indeformado.

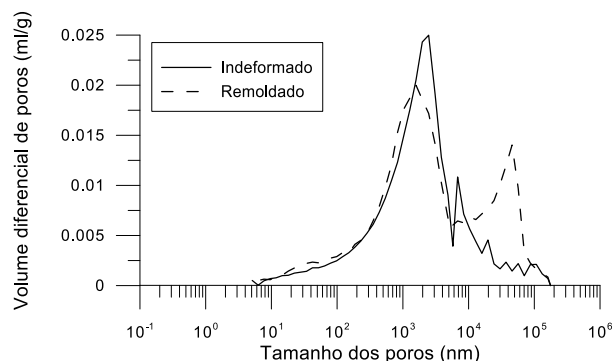


Figura 8. Distribuição dos poros no solo GrSp.

5 CONCLUSÕES

As curvas características obtidas para o solo GrSp são unimodais, mas no caso do solo GrLt os dados experimentais ajustam-se a curvas bimodais, tendo em vista a estrutura desenvolvida em níveis micro e macro no processo de lateritização. As sucções medidas neste solo são mais altas que nos solos saprolíticos investigados.

O processo de remoldagem dos solos impacta nos níveis de sucção desenvolvidos, o que se deve à estrutura dos solos e mais especificamente ao tamanho assumido pelos poros existentes no material após a remoldagem. O solo GrLt é mais sensível à remoldagem sendo que nesta condição o solo desenvolve maiores sucções que quando indeformado. No caso do solo GrSp resultado oposto é obtido.

As análises de porosimetria efetuadas no solo GrSp mostram que a remoldagem do solo, apesar de efetuada de forma que o índice de vazios, a densidade e a umidade fossem similares aos medidos no solo indeformado, dá origem a uma configuração distinta de poros.

Em condição remoldada o solo tem poros maiores, e por isso as sucções mobilizadas são inferiores àquelas medidas no solo indeformado. Essa alteração estrutural provoca mudança de comportamento já que a relação entre tamanho de poro e sucções mobilizadas é íntima, como mostrado nos trabalhos de Miguel e Bonder (2012), Aung et al. (2001) e Sillers et al. (2001).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem ao CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa (476360/2012-9), ao PPGEC/UFRGS e CAPES.

REFERÊNCIAS

- Agus, S.S., Leong, E.C., Rahardjo, H. (2001) Soil-water characteristic curves of Singapore Residual soils. *Geotech. Geol. Eng.* E 19.
- ASTM, (2010) Standard test method for measurement of soil potential using filter paper: D5298.
- Aung, K.K., Rahardjo, H., Leong, E.C., Toll, D.G. (2001) Relationship between porosimetry measurement and soil-water characteristic curve for an unsaturated residual soil. *Geotech. Geol. Eng.* E 9.
- Bitencourt, M.F. et al. (2008) Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. *Revista Pesquisas em Geociências* E 35, 1
- Carvalho, J. C., Leroueil, S. (2000) Normalizing models for soil retention curves. *Proc. 32nd Pavements Meeting*, Brasília.
- Collins, K.; McGowen, A. (1974) The form and function of microfabric features in a variety of natural soils. *Géotechnique*, E 24.
- Diamond, S. (1970) Pore size distributions in clays. *Clays and Clay Minerals*. E 18.
- Feuerharmel, C. (2007). Shear strength and hydraulic conductivity of unsaturated colluvium soils from Serra Geral Formation. Phd thesis. Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Feuerharmel, C., Gehling, W.Y.Y., Bica, A.V.D. (2006) The use of filter paper and suction-plate methods for determining the soil-water characteristic curve of undisturbed colluvium soils. *Geotech. Testing J.* E 29,
- Fookes, P.G. (1997) Tropical residual soils. *The Geological Society*, London.
- Fredlund, D.G., Xing A. (1994) Equations for the soil-water characteristic curve. *Can. Geot. J.* E 31.
- Fredlund, M.D. (1999) The role of unsaturated soil property functions in the practice of unsaturated soil mechanics. PhD thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon.
- Futai, M.M., Almeida, M.S.S. (2005) An experimental investigation of the mechanical behaviour of an unsaturated gneiss residual soil. *Géotechnique* E 55, 3.
- Gan J.K, Fredlund, D.G. (1996) Shear strength characteristics of two saprolitic soils. *Can. Geotech J.* E 33.
- Griffiths, F.J., Joshi, R.C. (1989) Change in pore size distribution due to consolidation of clays. *Geotechnique*. E 39, 1

- Hossain, M.A., Yin, J.H. (2010) Shear strength and dilative characteristics of an unsaturated compacted completely decomposed granite soil. *Can. Geotech. J.* E 47.
- Irfan, T.Y. (1988) Fabric Variability and index testing of a granitic saprolite. In *Int. Conf. on Geomechanics in Tropical Soils*, v.1.
- Kim, C.K, Kim, T.H. (2010) Behavior of unsaturated weathered residual granite soil with initial water contents. *Engineering Geology*, E 113
- Lapierre, C., Leroueil, S., Locat, J. (1990) Mercury intrusion and permeability of Louisville clay. *Canad. Geot. J.* E 27.
- Lee, I.M., Sung, S.G., Cho, G.C. (2005) Effect of stress state on the unsaturated shear strength of a wheathered granite. *Can. Geotech. J.* E 42
- Leroueil, S.; Vaughan, P.R. (1990) The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks. *Géotechnique*, E 40, 3
- Marinho F.A.M. (2000) Soil suction measurement in soils and porous materials. *Short course on unsaturated soils*, Geodenver 2000. ASCE. Denver.
- Marinho, F.A.M., Oliveira, O.M. (2006) The filter paper method revisited. *Geotech. Testing J.* E 29, 3.
- Miguel M.G., Vilar, O.M. (2009) Study of the water retention properties of a tropical soil. *Can. Geotech. J.* E 46.
- Miguel, M.G., Bonder, B.H. (2012) Soil–Water Characteristic Curves Obtained for a Colluvial and Lateritic Soil Profile Considering the Macro and Micro Porosity. *Geotech. Geol. Eng.* E 30, 6.
- Mitchell, J.K. Soga, K. (2005) *Fundamentals of Soil Behavior*, 3rd ed. John Wiley and Sons, New York
- Ng, C.W.W., Pang, Y.W. (2000) Experimental investigations of the soil-water characteristics of a volcanic soil. *Can. Geotech. J.* E 37.
- Oh, S., Lu, N., Kim, Y.K., Lee, S.J., Lee, S.R. (2012) Relationship between the Soil-Water Characteristic Curve and the Suction Stress Characteristic Curve: Experimental Evidence from Residual Soils. *J. Geotech. Geoenv. Eng.* E 138, 1.
- Philipp, R.P. Machado R. (2001) Suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. *Revista Brasileira de Geociências*, E 31, 3.
- Rahardjo, H., Heng, O.B, Choon, L.E. (2004) Shear strength of a compacted residual soil from consolidated drained and constant water content triaxial tests. *Can. Geotech. J.* E 41.
- Romero, E., Gens, A., Lloret, A. (1999) Water permeability, water retention and microstructure of unsaturated compacted Boom clay. *Eng. Geology.* E 54.
- Sasanian, S. Newson, T.A. (2013) Use of mercury intrusion porosimetry for microstructural investigation of reconstituted clays at high water contents. *Eng. Geology.* E 158.
- Sillers W.S., Fredlund D.G., Zakerazadeh, N. (2001). Mathematical attributes of some soil-water characteristic curve models. *Geot. Geol. Eng.*, E 19.
- Tugrul A. (1997) Change in pore size distritbution due to weathering of basalts and its engineering significance. *Proc. Int. Sym on Engineering Geology and Environment.* E 1.
- Vanapalli, S.K., Fredlund, D.G., Pufahl, D.E. (1999) The influence of soil structure and stress history on the soil-water characteristics of a compacted till. *Géotechnique*, E 49, 2
- Wesley, L.D. (1990) Influence of structure and composition on residual soils. *J. Geot. Eng.* E 116, 4