

Referências Bibliográficas

ACAR, Y.; OLIVERI, I., Pore Fluid Effects on the Fabric and Hydraulic Conductivity of Laboratory Compacted Clay, **Transport Research Record**, No. 1219, 1989, pp. 15-22.

ALONSO, T.P., **Condutividade Hidráulica de Solos Compactados em Ensaio com Permeômetro de Parede Flexível**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005, 113 p.

ANTUNES, F.S. **Comunicação pessoal**. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13600**: Solo – Determinação do Teor de Matéria Orgânica por Queima a 440°C. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986.

BARDEN, L.; SIDES, G.R., Engineering Behavior and Structure of Compacted Clay, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, ASCE, Vol. 96, No. SM4, 1970, p. 1171.

BELL, J.R., Compaction Energy Relationships of Cohesive Soils, **Transportation Research Record**, No. 641, 1977, pp 29-34.

BENEVELI, R.M., **Estudo dos Efeitos de Umedecimento e Secagem na Resistência ao Cisalhamento de um Solo Compactado em Laboratório**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2002, 186 p.

BENITES, V.D.M.; GRANATO, A.A.; BEZERRA, F.B.; MAZEDO, Z.C., Levantamento e Caracterização de Resíduos Orgânicos Gerados no Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, **Relatório técnico**, EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2003, pp. 1-7, *In*: BENITES, V.D.M.; BEZERRA, F.B.; MOUTA, R.D.O.; DE ASSIS, I.R.; SANTOS, R.C.; DA CONCEIÇÃO, M.; DE ANDRADE, A.G., Produção de Adubos Orgânicos a partir da Compostagem dos Resíduos da Manutenção da Área Gramada do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 50**, EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2004, pp. 1-21.

BENITES, V.D.M.; BEZERRA, F.B.; MOUTA, R.D.O.; DE ASSIS, I.R.; SANTOS, R.C.; DA CONCEIÇÃO, M.; DE ANDRADE, A.G., Produção de Adubos Orgânicos a partir da Compostagem dos Resíduos da Manutenção da Área Gramada do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 50**, EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2004, pp. 1-21.

BENITES, V.D.M., **Comunicação pessoal**. 2006.

BENSON, C.H.; BOUTWELL, G.P., Compaction Conditions and Scale-Dependent Hydraulic Conductivity of Compacted Clay Liners, **ASTM Special Technical Publication**, *In*: Constructing and Controlling Compaction of Earth Fills, No. 1384, 2000, pp. 254-273.

BENSON, C.H.; DANIEL, D.E., Influence of Clods on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, Vol. 116, No. 8, 1990, pp. 1231-1248.

BENSON, C.H.; DANIEL, D.E.; BOUTWELL, G.P., Field Performance of Compacted Clay Liners, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Vol. 125, No. 5, 1999, pp. 390-403.

BENSON, C.H.; HARDINATO, F.S.; MOTAN, E.S., Representative Specimen Size for Hydraulic Conductivity Assessment of Compacted Soil Liners, **Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil**, ASTM STP 1142, American Society for Testing and Materials, 1994, pp. 3-29.

BENSON, C.H.; ZHAI, H; WANG, X., Estimating the Hydraulic Conductivity of Compacted Clay Liners, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, Vol. 120, No. 2, 1994, pp. 366-387.

BIDONE, F.R.A., Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais: Eliminação e Valorização, **PROSAB**, Rio de Janeiro, 2001, pp. 45-50.

BRANDL, H., Mineral Liners for Hazardous Waste Containment, **Géotechnique**, Vol. 42, No. 1, 1992, pp. 57-65.

BRITO, A.T.A., **Estudo Químico e Mineralógico de um Perfil de Alteração de Gnaiss Migmatítico do Campo Experimental da PUC-RJ**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1981, 286 p.

CARVALHO, T.M.D.O., **Efeitos de um licor cáustico na resistência ao cisalhamento de um solo residual de sienito e um coluvionar**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2006, 167 p.

CAZAUX, D.; DIDIER, G., Comparison Between various Field and Laboratory Measurements of the Hydraulic Conductivity of Three Clay Liners, **Evaluation and Remediation of Low Permeability and Dual Porosity Environments**, ASTM STP 1415, 2002, pp. 3-24.

CENTER FOR TRANSPORTATION RESEARCH AND EDUCATION, **Field Evaluation of Compaction Monitoring Technology: Phase I**, Iowa Department of Transportation, Final Report, Iowa State, USA, 2004.

CETESB, **Resíduos Sólidos Industriais**, 2a edição, 1993.

DANIEL, D.E., **Geotechnical Practice for Waste Disposal**, Chapman & Hall, London, 1993, 683 p.

DANIEL, D.E., Predicting Hydraulic Conductivity of Clay Liners, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, Vol.110, No.2, 1984, pp. 285-300.

DANIEL, D.E.; BENSON, C.H., Water Content Density Criteria for Compacted Soil Liners, **Journal of Geotechnical Engineering**, Vol.116, No.12, 1990, pp. 1811-1830.

DANIEL, D.E.; TRAUTWEIN, S.J.; BOYNTON, S.S.; FOREMAN, D.E., Permeability Testing with Flexible-Wall Permeameters, **Geotechnical Testing Journal**, GTJODJ, Vol.7, No. 3, 1984, pp. 113-122.

DAS B.M., **Principles of Geotechnical Engineering**, 4ta Edição, PWS Publishing Company, USA, 1998, 712 p.

DAY, S.R.; DANIEL, D.E., Hydraulic conductivity of Two Prototype Clay Liners, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, Vol.111, No.8, 1985, pp. 957-970.

DAYLAC, R., **Desenvolvimento e Utilização de uma Célula para Medição de Ko com controle de sucção**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1994, 152 p.

DE CAMPOS, T.M.P., Características de Projeto e Dimensionamento de um Transdutor de Variação de Volume, **Relatório Interno RI 07/85**, PUC-Rio, 1985, 18 p.

DE CAMPOS, T.M.P., Desenvolvimento de Equipamentos para Compactação de Solos em Laboratório, **Relatório Final de Projeto de Pesquisa - PADCT/CNPq**, No. 70.0362/85, 1988.

DE MELLO, B.D., **Estudo Experimental da Permeabilidade Saturada-Não Saturada de um Solo de Uma Encosta do Rio de Janeiro**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1998, 84 p.

DUARTE, A.P.L., **Avaliação de Propriedades Termo-Hidráulicas de Solos Requeridas na Aplicação da Técnica de Dessorção Térmica**, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004, 290 p.

ELSBURY, B.R.; DANIEL, D.E.; SRADERS, G.A.; ANDERSON, D.C., Lessons Learned from Compacted Clay Liner, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, Vol.116, No.11, 1990, pp. 1641-1660.

GANDHI, G., **Análise e Formulação de Processos para Tratamento dos Chorumes Gerados em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2003, 214 p.

GARCIA-BENGOCHEA, I.; LOVELL, C.W.; ALTSCHAEFFL, A.G., Pore Distribution and Permeability of Silty Clays, **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, ASCE, Vol. 105, No.7, 1979, pp. 839-856.

HERMANN, J.G.; ELSBURY, B.R., Influential Factors in Soil Liner Construction for Waste Disposal Facilities, In: Geotechnical practice for waste disposal '87, **Geotechnical Special Publication**, ASCE, New York, USA, n 13, 1987, pp. 522-536.

HILF, J.W. Compacted Fill, **Foundation Engineering Handbook**, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY, 1975, pp. 244-311.

HILF, J.W., An Investigation of Pore water Pressures in Compacted Cohesive Soils, **Technical Memorandum 654**, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1956.

HOGENTOGLER, C.A., **Essentials of Soil Compaction Proceedings of the Highway Research Board**, National Research Council, Washington, D.C., 1936, pp. 309-316.

HOLTZ, R.D.; KOVACS, W.D., **An Introduction to Geotechnical Engineering**, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1981.

HOUSTON, S.L.; RANDENI, J.S., Effect on Clod Size on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay, **Geotechnical Testing Journal**, GTJODJ, Vol.15, No.2, 1992, pp. 123-128.

KORFIATIS, G.P; NIDAL, R.; DIAMEL, L., Permeability of Compacted Clay Liners in Laboratory Scale Models, *In: Geotechnical Practice for Waste Disposal '87, Proceedings of a Specialty Conference*, MI, USA, **Geotechnical Special Publication**, ASCE, No. 13, 1987, pp 611-624.

KOUASSI, P.; BREYSSE, D.; GIRARD, H.; POULAIN, D., A New Technique of Kneading Compaction in the Laboratory, **Geotechnical Testing Journal**, **GTJODJ**, Vol. 23, No. 1, 2000, pp. 72-82.

LAMBE, T.W., The Permeability of Fine-Grained Soils, **Permeability of Soils**, ASTM STP 163, ASTM, 1954, pp. 56-67.

LAMBE, T.W., The Structure of Compacted Clay, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, ASCE, Vol. 84, No.SM2, 1958, pp. 1654-1-1654-34.

MANDELLI, S.M.D.C.; LIMA, L.M.Q.; OJIMA, M.K., Tratamento de Resíduos Sólidos. **Compêndio de Publicações**. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 1991, pp. 35-65.

MC RAE J.L.; RUTLEDGE, P.C., Laboratory Kneading Of Soil to Simulate Field Compaction, **HRB**, Vol.31, 1952, pp. 593-600.

MESRI, G.; OLSON, R.E., Mechanisms Controlling the Permeability of Clays, **Clays and Clay Minerals**, Pergamon Press., Great Britain, Vol.19, 1971, pp.151-158.

MITCHELL, J.K, **Fundamentals of Soil Behavior**, Ed. John Wiley and Sons, Inc. University of California, USA, 1993, 437 p.

MITCHELL, J.K.; HOOPER, D.R.; CAMPANELLA, R.G., Permeability of Compacted Clay, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, ASCE, Vol. 91, No. SM4, 1965, pp. 41-65.

MONTENEGRO, M.S., **Relações entre as propriedades de um solo e as das suas frações constituintes**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1983, 195 p.

MOREIRA, B.D.M., **Estudo Experimental da Permeabilidade Saturada-Não Saturada de um Solo de uma Encosta do Rio de Janeiro**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1998.

MUNDELL, J.A.; BAILEY, B., The Design and Testing of a Compacted Clay Barrier Layer to Limit Percolation Through Landfill Covers, **Hydraulic Barriers in Soil and Rock**, ASTM, No. 874, 1985, pp.246-262.

NASCENTES, R., **Influência do Teor de Umidade na Condutividade Hidráulica de Camadas de Solo Residual Compactado**, Exame de Qualificação, Universidade de Viçosa, Minas Gerais, 2005, 104 p.

NETO, J.T.P., Conceitos Modernos de Compostagem, **Engenharia Sanitária**, Vol. 28, No. 2, 1989, pp.104-109.

OAKLEY, R.E., Design and Performance of Earth Lined Containment Systems, *In: Geotechnical Practice for Waste Disposal '87*, Proceedings of a Specialty Conference, MI, USA, **Geotechnical Special Publication**, ASCE, 1987, No. 13, pp.117-136.

OHU, J.O.; RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E.; MEHUYS, G., Shear Strength Prediction of Compacted Soils with Varying Added Organic Matter Contents, **American Society of Agricultural Engineers (ASAE)**, Vol. 29, No. 2, 1986, pp. 351-355.

OLSEN, H., Hydraulic Flow through Saturated Clays, **Clay and Clay Minerals**, Vol. 11, 1962, pp. 131-161.

OLSON, R.E., Effective Stress Theory of Soil Compaction, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, ASCE, Vol. 89, No. SM2, 1963, pp. 27-45.

OLSON, R.E.; DANIEL, D.E., Measurement of the Hydraulic Conductivity of Fine-Grained Soils, **ASTM Special Technical Publication**, 1981, pp. 18-64.

OTHMAN, M.A., LUETTICH, S.M. Compaction Control Criteria for Clay Hydraulic Barriers. **Transportation Research Record, Compaction of Difficult Soils and Resilient Modulus Testing**, No. 1462, Washington, D.C., USA, 1994, pp. 28-35.

OWEIS, I.S.; KHERA, R.P., **Geotechnology of Waste Management**, PWS Publishing Company, Boston, MA, USA, 1998, 472 p.

PIERCE, J.J.; SALLFORS S.; PETERSON, E., Clay Liner Construction and Quality Control, **Journal of Environmental Engineering**, Vol. 112, No. 1, 1986, pp. 13-24.

PINTO, C.D.S., **Curso Básico de Mecânica dos Solos**, 2a edição, Oficina de Textos, São Paulo, 2002, 247 p.

PROCTOR, R., The Design and Construction of Rolled Earth Damns, **Engineering News Record III**, 1933, pp.7, 21 e 28; *In*: HILF, J.W. Compacted Fill, **Foundation Engineering Handbook**, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY, 1975, pp. 244-311.

PROCTOR, R.R., Fundamental Principles of Soil Compaction, **Engineering News Record**, 1933, pp. 20-28.

RAGHAVAN, G.S.V.; OHU, J.O., Prediction of Static Equivalent Pressure of Proctor Compaction Blows, **American Society of Agricultural Engineers (ASAE)**, Vol. 28, No. 5, 1985, pp. 1398-1400.

ROGOWSKI, A.S., Comparison Between the Field and Laboratory Measured Properties of a Clay Liner, *In*: Proceedings of the ASCE 17th Annual National Conference, **Optimizing the Resources for Water Management**, ASCE, Fort Worth, TX, USA, 1990, pp.476-481.

ROWE, R. K.; QUIGLEY, R. M.; BOOKER, J. R., **Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities**, E&FN Spon, London, 1995, 390 p.

SEED, H.B.; CHAN, C.K., Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays, **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, ASCE, Vol. 85, No.SM5, 1959, pp 87-128.

SEED, H.B.; MONISMITH, C.L., Relationship Between Density and Stability of Subgrade Soils, **Highway Research Board Bulletin**, 1954, pp. 16-32.

SERTÃ, H.B.C., **Aspectos geológicos e Geotécnicos do Solo Residual do Campo Experimental II da PUC-Rio**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1986, 185 p.

SHACKELFORD, C.D., Waste Soil Interactions that Alter Hydraulic Conductivity, **Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil**, ASTM, No. 1142, 1994, pp. 111-168.

SOARES, R. M., **Resistência ao Cisalhamento de um Solo Coluvionar Não Saturado do Rio de Janeiro, RJ**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2005, 214 p.

SRIDHARAN, A.; NAGARAJ, H.B., Hydraulic Conductivity of Remolded Fine-Grained Soils versus Index Properties, **Journal of Geotechnical and Geological Engineering**, No.23, 2005, pp. 43-60.

TAHA, M.R.; KABIR, M.H., Tropical Residual Soil as Compacted Soil Liners, **Environmental Geology**, Vol. 47, No. 3, 2005, pp. 375-381.

U.S. BUREAU OF RECLAMATION, **Earth Manual: A Water Resources Technical Publication**, 2a edição, United States Government Printing Office, Washington DC, 1974.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Requirements for Hazardous Waste Landfill Design, Construction and Closure, **Seminar Publication**, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C, 1989.

WILSON, S.D., Small Soil Compaction Apparatus Duplicates Field Results Closely, **Engineering News-Record**, Vol. 145, No. 18, 1950, pp. 34-36.

Anexo I

Micromorfologia de Amostras Compactadas com Proctor Normal e Pisoteamento

Foram elaboradas quatro lâminas delgadas de amostras de solo e da M3 pelo instituto de Geociências da UFRJ. As lâminas foram extraídas da parte média de corpos de prova de solo coluvionar e da mistura M3, compactados na umidade ótima com Proctor Normal e com pisoteamento, com o objetivo de visualizar o efeito produzido por cada método em ambos os materiais e de comparar também a influência da natureza das frações que constituem cada uma destas amostras. As figuras seguintes mostram a estrutura visualizada no microscópio ótico.

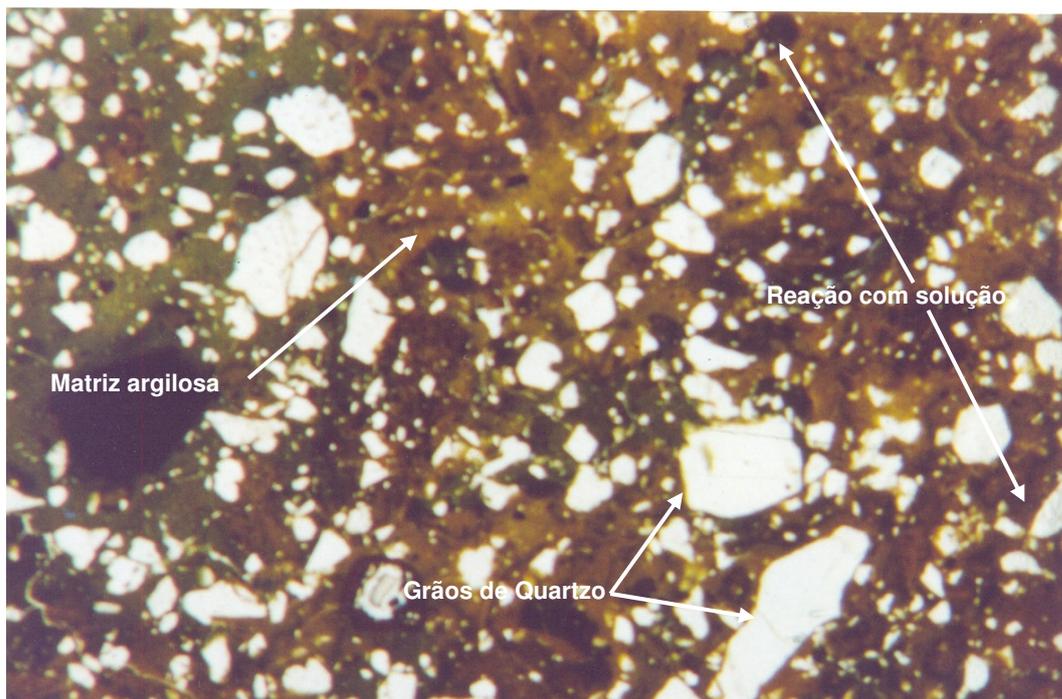


Figura I. 1 - Visão geral da estrutura da amostra de solo compactado por Proctor Normal na W_{ot} (Aumento:2,5x).

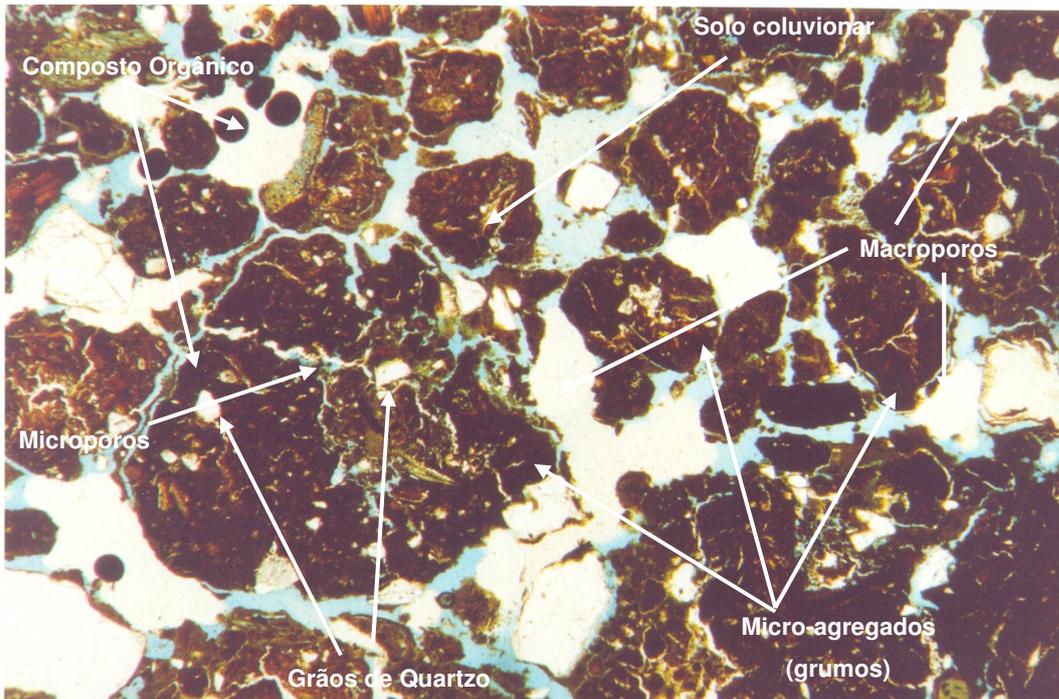


Figura I. 2 - Visão geral da estrutura da amostra da M3 compactada por Proctor Normal na W_{ot} (Aumento:2,0x).

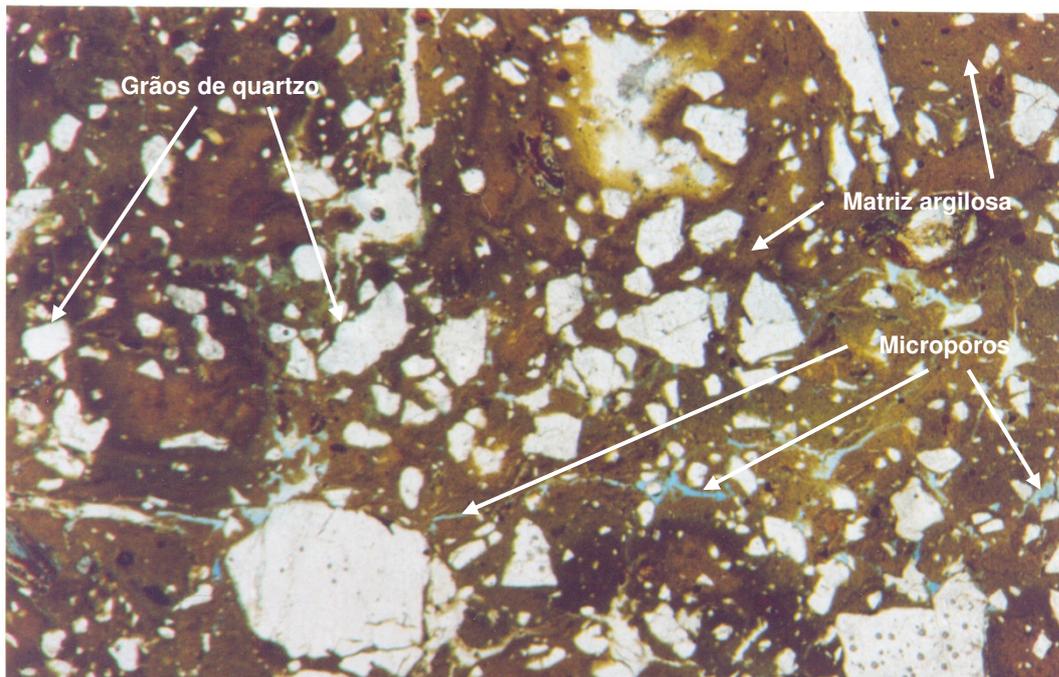


Figura I. 3 - Visão geral da estrutura da amostra de solo compactada por pisoteamento na W_{ot} (Aumento:2,0x).

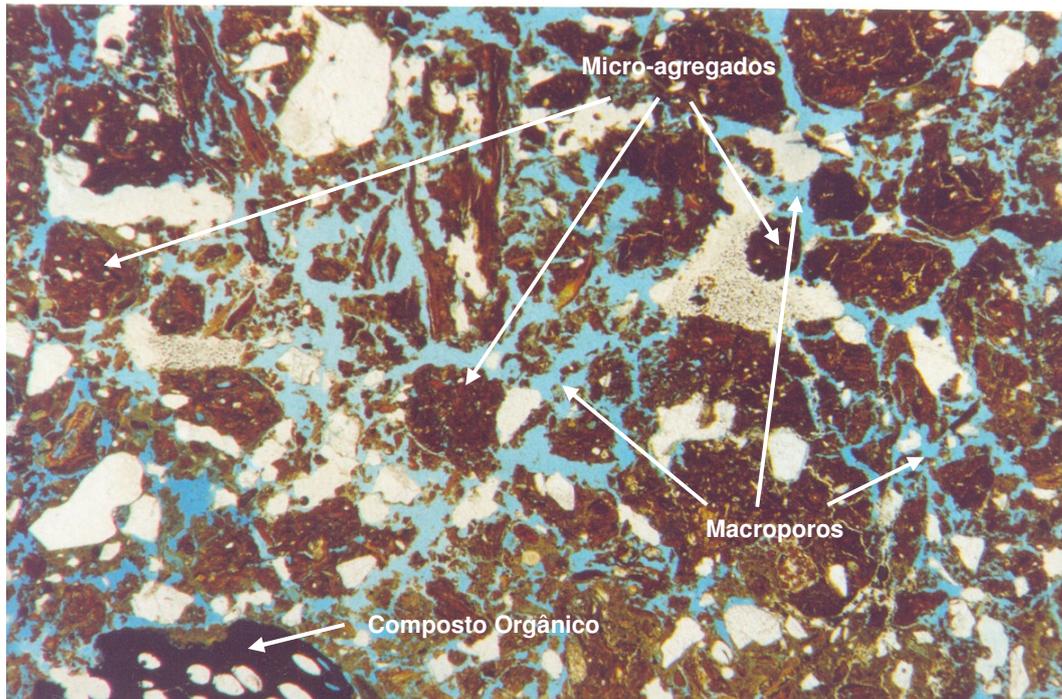


Figura I. 4 - Visão geral da estrutura da amostra da M3 compactada por pisoteamento na W_{ot} (Aumento: 2,0x).

Nas lâminas mostradas nas Figuras I.1 e I.3, observa-se que o solo apresenta poucos vazios e uma estrutura bastante uniforme, sem grumos visíveis. Os vazios, que aparecem como traços ou manchas azuis ou brancas, se encontram dentro da matriz argilosa, evidenciando a microporosidade. Dentro da matriz, observam-se também manchas pretas que representam uma reação ocorrida entre a solução impregnada na lâmina com os argilominerais presentes no solo. Quanto ao método de compactação, verificou-se a partir das figuras supracitadas que aparentemente não houve uma diferença significativa na estrutura resultante quando compactado pelos distintos métodos (Proctor Normal e pisoteamento).

Nas amostras da M3 (Figuras I.2 e I.4), observam-se estruturas bastante porosas e floculadas, o que pode se associar à natureza do composto orgânico presente na mistura, já que a matéria orgânica, como foi afirmado por Antunes (2006) e Ohu *et al.* (1986), tem a propriedade de formar agregados ou aglutinações de material a além disso é extremamente porosa.

O método de compactação aparentemente teve um efeito importante no tamanho dos grumos, confirmando que, para este material (M3), quando compactado na umidade ótima, ocorre o afirmado por autores como Houston e Randeni (1992) e Benson *et al.* (1999) quanto ao efeito do pisoteamento na diminuição do tamanho dos micro-agregados.

Comparando as estruturas obtidas para as amostras do solo e da M3, conclui-se que a condutividade hidráulica das primeiras é menor, pois se nota uma estrutura mais dispersa com presença de microporos. Já para as amostras da M3 se observam macroporos entre os grumos ou micro-agregados formados por composto orgânico e solo, confirmando os maiores valores de condutividade hidráulica obtidos nos ensaios de permeabilidade.

Apesar de se ter identificado uma diferença significativa no tamanho dos micro-agregados resultantes de ambos os processos de compactação para as amostras da M3, não é possível afirmar, a partir das Figuras I-2 e I-4, qual das duas amostras seria mais permeável, pois embora apresente vazios de menor tamanho quando compactada por pisoteamento, estes parecem ser mais abundantes que os resultantes quando compactada com Proctor Normal. Para isto, teria que ser feita uma contagem para verificar qual das duas estruturas possui mais espaços vazios, e eventualmente, uma maior condutividade hidráulica.

Apêndice A

Detalhes da Composição Química do Composto Orgânico

A caracterização química do composto apresentada nas tabelas a seguir, foi realizada pela EMBRAPA. O composto orgânico utilizado neste trabalho, como foi mencionado no Capítulo 3, provém do processo de compostagem das aparas de grama do Aeroporto Internacional Galeão-RJ. Benites (2006) afirma que a composição do mesmo (também denominado pela EMBRAPA como insumo orgânico) pode variar em cada leva, devido a mudanças durante o processo de compostagem ou à composição do material de origem, que é susceptível a agentes externos (chuva, variação de temperatura, etc.).

Na Tabela A.1 se apresentam as diferentes denominações dadas ao composto orgânico, seu teor de umidade (%U), teor de matéria orgânica (MO%), carbono orgânico (CO%³) e densidade. O teor de matéria orgânica determinado na PUC-Rio de acordo com a norma NBR 13600 diverge do valor apresentado na tabela abaixo, o qual foi determinado por incineração à 550 °C por cerca de 4 horas, e alternativamente à 400 °C por 12 horas (Benites *et al.* 2004).

Tabela A. 1-Classificação e características dos insumos orgânicos analisados conforme metodologia adotada pelo Ministério da Agricultura (LANARV, 1988).

Classe MAPA ¹	Classe fantasia ²	%U	MO%	CO% ³	Densidade
Fertilizante orgânico composto	Composto Orgânico	54,1	56,1	31,0	0,50

Notas:

- 1- Classificação segundo Instrução Normativa nº 15/2004 do Ministério da Agricultura.
- 2- Classificação conforme declarado pelo fabricante na embalagem do produto.
- 3- Carbono orgânico (CO) calculado pela divisão de matéria orgânica (MO) por 1,8 (LANARV, 1988 *apud* Benites *et al.*, 2004).

As características químicas do composto e os teores de ácidos húmicos, fúlvicos e extrato húmico total, são mostrados nas Tabelas A.2 e A.3.

Tabela A. 2- Características químicas do composto orgânico obtido a partir de resíduos da manutenção de gramados em áreas urbanas.

pH	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
----- g/kg -----								
7,6	310,22	12,78	7,08	9,83	19,45	2,01	5,35	0,68
Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Cd	Pb	Mo
----- mg/kg -----								
943	7870	59	18	6,6	1,0	0,9	21	1,4

Tabela A. 3- Teores de ácidos húmicos (AH), fúlvicos(AF) e extrato húmico total (EHT) do extrato de ácidos húmicos dos insumos orgânicos analisados.

AH	AF	EHT	AH/AF	EHT/MO
----- mg C . g ⁻¹ -----				
3,3	4,3	7,7	0,8	1,4

Apêndice B

Detalhes dos permeômetros flexíveis ligados a frascos de Mariotte para a execução de ensaios de permeabilidade

O equipamento construído no laboratório de Geotecnia da PUC-Rio consiste de quatro permeômetros de parede flexível, dois frascos de Mariotte que aplicam uma carga constante, uma coluna de água para aplicar tensão confinante dentro de todas as câmaras e um conjunto de balanças conectadas a um sistema eletrônico de aquisição de dados. Na Figura B.1 se apresenta uma visão geral do equipamento. Observa-se que todas as conexões se encontram na base da câmara. Nela, existem quatro válvulas: uma ligada ao interior da câmara por onde é aplicada a pressão confinante, outra ligada ao topo do corpo de prova, e duas outras, diametralmente opostas, ligadas à base do corpo de prova.

A tensão confinante é aplicada em todo o sistema por meio de uma coluna de água, capaz de transmitir no máximo 3 mca (aproximadamente 30 kPa) portanto, este sistema só permite saturar a amostra por percolação e não por contrapressão, o que representa uma desvantagem do ponto de vista do tempo de execução dos ensaios.

A carga hidráulica constante é aplicada por meio dos frascos de Mariotte na base dos corpos de prova, provocando um fluxo ascendente. Cada frasco é capaz de abastecer duas câmaras, pois cada um possui duas saídas na base (como se mostra no item 8 da Figura B.1) com as respectivas válvulas de controle, o que permite que os ensaios sejam feitos ou não simultaneamente.

O fluxo que sai pelo topo do corpo de prova é recolhido em *beckers* (item 6 da Figura B.1). Cada *becker* se encontra fixado em uma balança, e esta pela sua vez, esta conectada a um sistema de leitura de dados elétricos. Assim, obtém-se uma leitura em volts ao longo de um determinado tempo, que é transformada em peso por meio das equações de calibração correspondentes a cada uma das balanças utilizadas. Assim, conhecendo-se o peso do efluente recolhido ao longo de um determinado período, é possível transformar para unidade de volume e obter o coeficiente de permeabilidade de cada material utilizando a lei de Darcy.



- | | |
|---|---|
| 1: Tubos de Mariotte | 5: Saída do efluente do topo do CP |
| 2: Permeômetros de parede flexível | 6: Becker |
| 3: Entrada da tensão confinante na câmara | 7: Balança eletrônica |
| 4: Entrada de pressão na base do CP | 8: Saída de água para aplicar pressão na base do CP |

Figura B.1-Permeômetros de parede flexível com carga constante aplicada por Mariottes.

A seguir, detalha-se a metodologia para a execução dos ensaios de permeabilidade no equipamento acima mostrado.

Após ter compactado o material com uma determinada técnica (pisoteamento ou Proctor Normal) os corpos de prova são moldados e colocados em uma câmara de acrílico que permanece hermeticamente fechada durante o ensaio.

Inicialmente, o corpo de prova é colocado dentro da câmara com papel filtro e pedras porosas saturadas em seus dois extremos. Posteriormente, este é confinado com uma membrana de látex presa com anéis de vedação na base e no cabeçote, para impedir o fluxo de água entre a membrana e a amostra de solo. Todas as linhas são previamente saturadas para garantir a saída do ar antes de começar o ensaio. As pedras porosas são limpas no ultra-som antes de cada ensaio também.

A câmara é preenchida com água e fechada para em seguida, aplicar a tensão confinante por meio da coluna de água. Então, aplica-se uma carga hidráulica constante na base da amostra por meio do frasco de Mariotte, para provocar um fluxo ascendente e abre-se a válvula de saída do topo para coletar o efluente nos *beckers* e pesar nas balanças.

Admite-se que a amostra está saturada quando o volume recolhido é superior ou igual a três vezes o volume de vazios da amostra ou quando a variação de volume ao longo de um intervalo de tempo permanece constante (vazão de saída constante). Nesse momento, determina-se a vazão e calcula-se o coeficiente de permeabilidade do solo.

Este tipo de ensaio pode ser mais eficiente quando usado com solos que possuam uma permeabilidade de média a alta, pois, quando se utilizam materiais de baixa permeabilidade (com elevada porcentagem de finos), os ensaios podem ser muito demorados, devido ao processo de saturação por percolação.

No caso do presente estudo, devido aos inconvenientes explicados no capítulo 4, o uso do equipamento foi descartado, e passou-se a utilizar o sistema de permeômetros flexíveis com sistema de saturação por contrapressão.