

6

Referências Bibliográficas

ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR's 7181/1984, 6459/1984, 7180/1984, 6508/1984, 6457/1986, 2887/1988, 3336/1990.

ADAM, G. & DUNCAN H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluoresceiin diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 33, p.943-951, 2001.

AICHBERGER, H. et al. Potential of preliminary test methods to predict biodegradation performance of petroleum hydrocarbons in soil. **Biodegradation**, 16, p.115-125, 2005.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc., 1977. 467 p.

ALVAREZ-COHEN, L. Engineering challenges of implementing *in situ* bioremediation. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL, ***In situ* bioremediation: When does it work?**. National Academy Press, Washington, D.C., 1993. p.136-152.

ATLAS, R.M. Effects of temperature and crude oil composition on petroleum biodegradation. **Applied Microbiology**, v.30, n.3, p.396-403, 1975.

_____. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective. **Microbiological Reviews**, v.45, n.1, p.180-209, 1981.

_____. Bioremediation of petroleum pollutants. **International Biodeterioration & Biodegradation**, p.317-327, 1995.

_____. Petroleum Biodegradation and oil spill bioremediation. **Marine Pollution Bulletin**, v.31, n.4-12, p.178-182, 1995.

ATLAS, R.M. & BARTHA, R. Abundance , distribution, oil biodegradation potential of microorganisms in Raritan Bay. **Environmental Pollution**, 14, p.291-300, 1972.

BEAR, J. **Dynamics of fluids porous media**. Second printing. New York: American Elsevier Publishing Company, Inc., 1972. 764 p.

BENTO, D.M. **Análise química da degradação dos hidrocarbonetos de óleo diesel no estuário da Lagoa dos Patos – Rio Grande / RS**. Rio Grande, 2005. 112p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande.

BICALHO, K.V. **Dissolução de gasolina em presença de água e etanol**. Rio de Janeiro, 1997. 163p. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

BLUME, E. et al. Surface and subsurface microbial biomass, community structure and metabolic activity as a function of soil depth and season. **Applied Soil Ecology**, 20, p.171-181, 2002.

BOSSERT, I. et al. Fate of hydrocarbons during oily sludge disposal in soil. **Applied and Environmental Microbiology**, v.47, n.4, p.763-767.

BROWN et al. *In situ* bioremediation: The state of the practice. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL, ***In situ* bioremediation: When does it work?**. National Academy Press, Washington, D.C., 1993. p.121-135.

CAMPOS, A.C.S.L. **Características de compressibilidade de uma argila mole da Zona Industrial de Santa Cruz, Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2006. 175p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CARRILLO, D.C.W. **Desenvolvimento de um equipamento para o estudo da permeabilidade efetiva em meios multifásicos**. Rio de Janeiro, 2000. 236p. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CARVALHO, A.C.M.G. **Desenvolvimento de um difusímetro para solos não saturados**. Rio de Janeiro, 2001. 164p. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CARVALHO, T.M.O. **Efeitos de um licor cáustico na resistência ao cisalhamento de um solo residual de sienito e um coluvionar indeformados**. Rio de Janeiro, 2006. 167p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CASTRO FILHO, G.B. **Estudo do fluxo e transporte de gasolina pura e misturada com etanol em meios porosos não saturados**. Rio de Janeiro, 2007. 155p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CHANEAU, C.H. et al. Bioremediation of a crude-oil polluted soil: Biodegradation, leaching and toxicity assessments. **Water, Air and Soil Pollution**, v.144, p.419-440, 2003.

CHAKRABORTY, R. & COATES, J.D. Anaerobic degradation of monoaromatic hydrocarbons. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 64, p.437-446, 2004.

CHAPELLE, F.H. **Groud-water microbiology and geochemistry**.USA: John Wiley & Sons, Inc., 1992. 424 p.

CHAPELLE, F. The significance of microbial processes in hydrogeology and geochemistry. **Hydrogeology Journal**, 8, p.41-46, 1999.

COATES, J.D. et al. Anaerobic benzene biodegradation – a new era. **Research in Microbiology**, 153, 621-628, 2002.

CORSEUIL, H.X. & MARINS M.D.M. Efeitos causados pela mistura de gasolina e álcool em contaminações de águas subterrâneas. **Boletim Técnico da Petrobrás**, 41, p.133-138, 1998.

DA SILVA, L.B. et al. Enhanced anaerobic biodegradation of BTEX-ethanol mixtures in aquifer columns amended with sulfate, chelated ferric iron or nitrate. **Biodegradation**, 16, p.105-114, 2005.

DEEB, R.A. et al. Impact of ethanol on benzene plume lengths: Microbial and modeling studies. **Journal of Environmental Engineering**, ASCE, v.129, n.9, p.868-875, 2002.

DEMUELENAERE, R.F.A. **Caracterização de propriedades de transporte de metais pesados em solos residuais do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2004. 120p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

DETTMER, K. A. Discussion of the Effects of Thermal Remediation Treatments on Microbial Degradation Processes. National Network of Environmental Management Studies Fellow. 2002. pp. 25.

DIBBLE, J.T. & BARTHA, R. Effect of environmental parameters on the biodegradation of oil sludge. **Applied and Environmental Microbiology**, v.37, n.4, p.729-739, 1979.

DUARTE, A.P.L. **Avaliação de propriedades termo-hidráulicas de solos requeridas na aplicação da técnica de dessorção térmica**. Rio de Janeiro, 2004. 290p. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

EDWARDS, C.A. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. **European Journal of Soil Biology**, 38, p.225-231, 2002.

ENVIRONMENTAL AGENCY, Principles for evaluating the human health risks from petroleum hydrocarbons in soils: A consultation paper. **Technical Report**, P5-080/TR1, 2003.

EVANS, F.F. et al. Impact of oil contamination and biostimulation on the diversity of indigenous bacterial communities in soil microcosms. **FEMS Microbiology Ecology**, 49, p.295-305, 2004.

FESCH, C. et al. Effect of water content on the solute transport in a porous medium containing reactive micro-agregates. **Journal of Contaminant Hydrology**, 33, p.211-230, 1998.

FETTER, C.W. **Contaminant hydrogeology**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1992. 458 p.

FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1979. 604 p.

GONÇALVES, A.S. et al. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.5, p.651-658, 2002.

GÜLENSOY, N. & ALVAREZ, P.J.J. Diversity and correlation of specific aromatic hydrocarbon biodegradation capabilities. **Biodegradation**, 10, p.331-340, 1999.

HALMEMIES, S. et al. Estimation of the time periods and processes for penetration of selected spilled oils and fuels in different soils in the laboratory. **Spill Science and Technology Bulletin**, v.8, n.5-6, p.451-465, 2003.

HAMAMURA, N. et al. Microbial population dynamics associated with crude-oil biodegradation in diverse soils. **Applied and Environmental Microbiology**, v.72, n.9, p.6316-6324, 2006.

HILFER, R. Capillary pressure, hysteresis and residual saturation in porous media. **Physica**, 359, p.119-128, 2006.

HILL, G.T. et al. Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. **Applied Soil Ecology**, 15, p.25-36, 2000.

HOLDEN, P.A. & FIERER, N. Microbial processes in the vadose zone. **Vadose Zone Journal**, 4, p.1-21, 2005.

HUESEMANN, M.H. Predictive model for estimating the extent of petroleum hydrocarbon biodegradation in contaminated soils. **Environmental Science Technology**, 29, p.7-18, 1995.

JOBSON, A. et al. Microbial utilization of crude oil. **Applied Microbiology**, v.23, n.6, p.1082-1089, 1972.

JOERGENSEN, R.G et al. Biomass activity of microorganisms in a fuel oil contaminated soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, n.9, p.1137-1143, 1995.

JONES, D.M. & DOUGLAS, A.G. Hydrocarbon distributions in crude oil asphaltene pyrolyzates.1.aliphatic compounds. **Energy & Fuels**, 1, 468-476, 1987.

KECHAVARZI, C. et al. Multispectral image analysis method to determine dynamic fluid saturation distribution in two-dimensional three-fluid phase flow laboratory experiments. **Journal of Contaminant Hydrology**, 46, p.265-293, 2000.

KECHAVARZI, C. et al. Two-dimensional laboratory simulation of LNAPL infiltration and redistribution in the vadose zone. **Journal of Contaminant Hydrology**, 76, p.211-233, 2005.

LACKNER, A.S. & TORSÆTER, O. Effects of pressure and wettability on residual phase saturation in sandstone rock. **Journal of Petroleum Science & Engineering**, 52, p.237-243, 2006.

LADD, C.N. et al. Soil structure and biological activity. In: STOTZKY, G. & BOLLAG, J.M. (eds.), **Soil biochemistry**, v.9. New York: Marcel Dekker. P.23-78, 1996.

LaGREGA, M.D. et al. **Hazardous waste management**. USA: McGraw Hill, Inc., 1994. 1146 p.

LEAHY, J.G & COLWELL, R.R. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. **Microbiological Reviews**, v.54, n.3, p.305-315, 1990.

LEHMAN, P. et al. Effect of hysteresis on water flow in sand column with a fluctuating capillary fringe. **Journal of Contaminant Hydrology**, 33, p.81-100, 1998.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba, 2000. 509 p.

LOCKINGTON, D.A. & PARLANGE, J.Y. A new equation for macroscopic description of capillary rise in porous media. **Journal of Colloid and Interface Science**, 278, p.404-409, 2004.

McNABB, J.F. & DUNLAP, W.J. Subsurface biological activity in relation to ground-water pollution. **Ground Water**, 13, p.33-44, 1975.

MARGESIN, R. Monitoring of bioremediation by soil biological activities. **Chemosphere**, 40, p.339-346, 2000.

MATTHESS, G. **The properties of groundwater**. New York: John Wiley, 1982.

MONCADA, M.P.H. **Estudo em laboratório de características de colapso e transporte de solutos associados à infiltração de licor cáustico em solo laterítico**. Rio de Janeiro, 2004. 219p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Editora UFLA. 2002.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, ***In situ* bioremediation: When does it work?**. National Academy Press, Washington, D.C., 1993. 208p.

OLIVEIRA, F.J.S. & FRANÇA, F.P. The use of biostimulation and intrinsic bioremediation methodologies for the treatment of a sandy sediment contaminated with crude oil. **Solos e Rochas**, v.27, n.3, p.287-292, 2004.

ÖSTERREICHER-CUNHA et al. Biodegradabilidade de óleo cru em solo residual do Rio de Janeiro. In: 24º Congresso Brasileiro de Microbiologia, 2007, Brasília. **Anais do 24º Congresso Brasileiro de Microbiologia**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2007.

PESSÔA, T.O.A. **Avaliação da influência da mineralogia, índice de vazios e teor de umidade em propriedades térmicas de solo**. Rio de Janeiro, 2006. 167p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

PERRY, J.J. Microbial metabolism of cyclic alkanes. In: ATLAS, R.M. (ed.) **Petroleum Microbiology**. Macmillan Publishing Co., New York, 1984. p.61-98.

PINTO, C.D.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 247 p.

PIRES, P.J.M. **Desenvolvimento de um sistema de dessorção térmica *in situ* para remediação de materiais contaminados por hidrocarbonetos de petróleo**. Rio de Janeiro, 2004. 189p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

RAYMOND, R.L. et al. Oil degradation in soil. **Applied Environmental Microbiology**, v.31, p.522-535, 1976.

RENNO, C.R. **Modelagem física da mobilidade da gasolina pura e gasolina com etanol em solos não saturados**. Relatório de Iniciação Científica, Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio – ANP, 2007. 35p.

RICHARDS, L.A. Capillary conduction of liquids through porous mediums. **Physics**, v.1, 1931.

ROUBAL, G. & ATLAS, R.M. Distribution of hydrocarbon-utilizing microorganisms and hydrocarbon biodegradation potentials in Alaskan continental shelf areas. **Applied and Environmental Microbiology**, v.35, n.5, p.897-905, 1978.

SABATÉ, J. et al. Laboratory-scale bioremediation experiments on hydrocarbon-contaminated soils. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 54, p.19-25, 2004.

SALANITRO, J.P. et al. Crude oil hydrocarbon bioremediation and soil ecotoxicity assessment. **Environmental Science Technology**, 31, p.1769-176, 1997.

SARKAR, D. et al. Bioremediation of petroleum hydrocarbons in contaminated soils: Comparison of biosolids addition, carbon supplementation and monitored natural attenuation. **Environmental Pollution**, 136, p.187-195, 2005.

SOUZA, M.V. **Transporte eletrocinético de gasolina e óleo através de um solo residual gnáissico e borra de petróleo da Bacia de Campos**. Rio de Janeiro, 2002. 137p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

STONE, R.W. & ZOBELL, C.E. Bacterial aspects of the origin of petroleum. **Industrial and Engineering Chemistry**, v.44, n.11, p.2564-2567, 1952.

TALLEY, J.W. Study of the potential for bioremediation of petroleum hydrocarbons within smear zone soils. **Journal of Environmental Engineering**, ASCE, v.130, n.11, p.1401, 2004.

TAPAJOS, P.B.A. **Avaliação da atenuação natural de hidrocarbonetos de petróleo em solo residual da região de Duque de Caxias**. Rio de Janeiro, 2004. 67p. Monografia (Geotecnia Ambiental) - Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

TAPAJOS, P.B.A. & ÖSTERREICHER-CUNHA, P. et al. Natural attenuation of crude oil in tropical residual soil. In: 3rd European Biorremediation Conference, 2005, Chania. **e-Proceedings 3rd European Biorremediation Conference**. Chania: Technical University of Crete, 2005.

_____. Aspectos microbiológicos da degradação de óleo cru em solo residual tropical. In:

23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande. **Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. v. VI240.

TAPAJOS, P.B.A. et al. Avaliação da degradação de óleo em solo residual tropical. In: **IX ENAMA, 2005**, Curitiba, 2005.

TAYLOR, J.P. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology & Biochemistry**, 34, p.387-401, 2002.

TREVORS, J.T. Sterilization and inhibition of microbial activity in soil. **Journal of Microbiological Methods**, 26, p.53-59, 1996.

TROQUET, J. et al. Evidence for the occurrence of an oxygen limitation during soil bioremediation by solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, 13, p.103-112, 2003.

USEPA **Monitored natural attenuation of petroleum hydrocarbons**. US. EPA Remedial Technological Fact Sheet, EPA/600/F-98/021, 1999.

_____. **Field measurement technologies for total petroleum hydrocarbons in soil**. US. EPA Demonstration Plan, EPA/600/R-01/060, 2000.

_____. **Microbial processes affecting monitored natural attenuation of contaminants in the subsurface**. US. EPA Ground Water Issue, EPA/540/S-99/001, 1999.

VALENTI, N.P. et al. A unified theory on residual oil saturation and irreducible water saturation. **SPE Annual Technical Conference and Exhibition**, 2002.

VAN GEEL, P.J. & SYKES, J.F. Laboratory and model simulations of a LNAPL spill in variably-saturated sand, 1. Laboratory experiment and

image analysis techniques. **Journal of Contaminant Hydrology**, 17, p.1-25, 1994.

_____. Laboratory and model simulations of a LNAPL spill in a variably-saturated sand, 2. Comparison of laboratory and model results. **Journal of Contaminant Hydrology**, 17, p.27-53, 1994.

VAN HAMME, J.D. et al. Recent advances in petroleum microbiology. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v.67, n.4, p.503-549, 2003.

VIANA, A.F. **Desenvolvimento de equipamento para a aplicação da dessorção térmica *in situ***. Rio de Janeiro, 2006. 256p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

WALKER, J.D & COLWELL, R.R. Microbial petroleum degradation: Use of mixed hydrocarbon substrates. **Applied Microbiology**, v.27, n.6, p.1053-1060, 1974.

WANG, Z. et al. Comparison of oil composition changes due to biodegradation and physical weathering in different oils. **Journal of Chromatography**, 809, p.89-107, 1998.

WARD et al. Microbial biodegradation and the chemical evolution of Amoco Cadiz oil pollutants. p.277-283, 1980.

WEAVER, J. Modeling subsurface transport of petroleum hydrocarbons. Last updated July 18, 2001. US EPA Office of Research and Development, Athens, Georgia. Available from URL <http://www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/index.html>. 2001a.

_____, On site: the on-line site assessment tool. On site formulas, Last updated June 24, 2001. US EPA. Available from URL <http://www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/index.html>. 2001b.

WILSON, J.T. Testing bioremediation in the field. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL, ***In situ* bioremediation: When does it work?**. National Academy Press, Washington, D.C., 1993. p.160-184.

WILSON, J.T & KOLHATKAR, R. Role of natural attenuation in life cycle of MTBE plumes. **Journal of Environmental Engineering**, ASCE, v.128, n.9, p.876-882, 2002.

WONG, R.C.K. Effects of clay content and temperature on crude oil (nonvolatile components) transport in unsaturated soils: Centrifuge study. **Journal of Environmental Engineering**, ASCE, v.131, n.10, p.1473-1478, 2005.

ZALIDIS, G.C. et al. Influence of initial water saturation on the residual saturation of an organic liquid in the vadose zone. **Water Resources Management**, v.12, p.81-93, 1998.

ZOBELL, C.E. Action of microorganisms on hydrocarbons. **Bacteriological Review**, 10, p.1-49, 1946.

Apêndice A

Neste apêndice serão apresentados os resultados que levaram à definição das metodologias de adensamento e de drenagem das esferas de vidro.

A.1 Adensamento Camada por Camada

Os resultados dos testes em que o solo arenoso inerte foi adensado camada por camada serão apresentados em sub-ítems referentes ao tipo de drenagem a que o solo esteve submetido.

A.1.1 Drenagem Natural

A tabela A.1 apresenta os resultados referentes à umidade dos segmentos de coluna após os testes de drenagem natural.

Drenagem Natural					
Propriedade	Umidade (%)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	6,53	7,19	6,01	6,58	0,59
2	12,29	12,61	14,49	13,13	1,19
3	12,41	23,1	20,31	18,61	5,54
4	15,82	20,9	18,95	18,56	2,56
5	25,79	17,17	16,66	19,87	5,13
int	15,73	16,45	16,3	16,16	0,38
Media	14,57	16,19	15,28	15,35	3,00
DesvPad	7,11	6,42	5,64	5,55	2,25

Tabela A.1 – Umidade dos segmentos de coluna após a drenagem natural

A figura A.1 ilustra graficamente os resultados dos testes apresentados na tabela A.1.

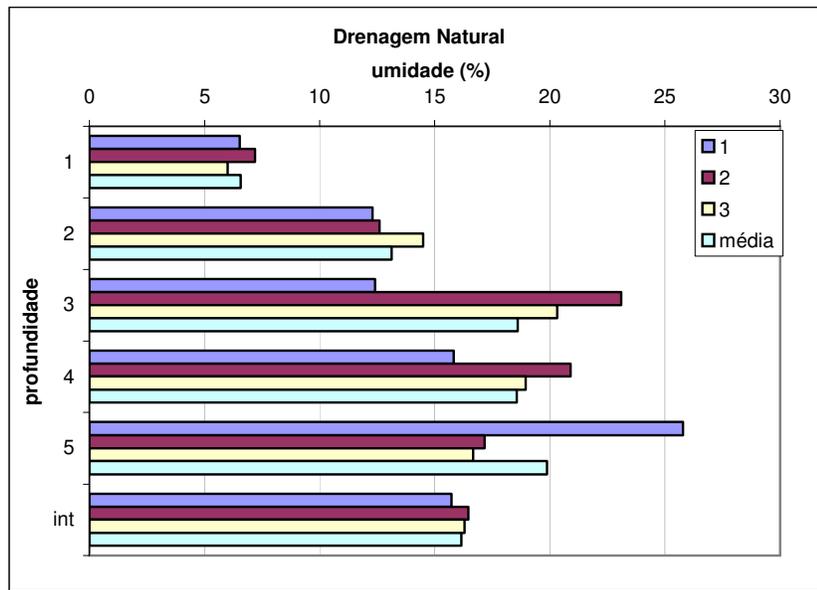


Figura A.1 – Umidade dos segmentos da coluna após a drenagem natural.

As barras horizontais representam a umidade dos segmentos de solo na coluna, numerados de cima para baixo de 1 a 5. Os dados correspondentes à *int* referem-se à umidade da coluna inteira. Este mesmo modelo de gráfico foi também utilizado para ilustrar os dados referentes à saturação e ao peso específico seco do solo, não só para o caso da drenagem natural como também para os outros tipos de drenagem, tanto para o adensamento camada por camada quanto para o adensamento da coluna inteira.

A tabela A.2 apresenta os resultados relativos à saturação dos segmentos da coluna.

Drenagem Natural					
Propriedade	Saturação (%)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	33,34	33,89	30,46	32,56	1,84
2	55,12	61,29	61,75	59,39	3,70
3	67,44	112,59	99,39	93,14	23,21
4	95,33	115,17	96,30	102,27	11,19
5	134,06	95,58	99,24	109,63	21,24
int	82,07	83,72	81,71	82,50	1,07
Media	77,06	83,70	77,43	79,40	12,24
DesvPad	38,95	35,18	30,68	32,48	9,79

Tabela A.2 – Saturação dos segmentos após a drenagem natural.

A figura A.2 ilustra graficamente os dados apresentados anteriormente.

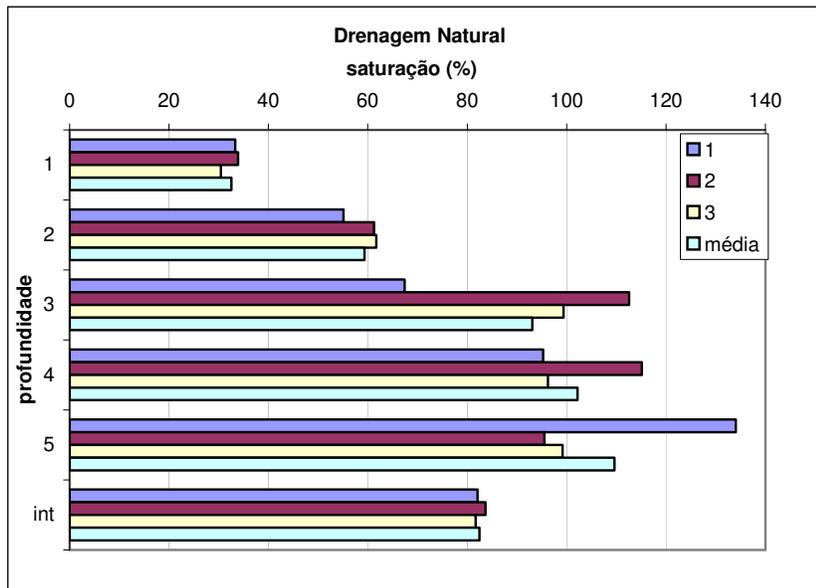


Figura A.2 – Saturação dos segmentos após a drenagem natural.

A figura A.3 e a tabela A.3 apresentam os dados referentes ao peso específico seco dos segmentos, obtido a partir da relação entre o peso dos sólidos e o volume total de solo no segmento.

Drenagem Natural					
Propriedade	γ_d (g/cm ³)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	1,652	1,609	1,649	1,637	0,024
2	1,581	1,626	1,553	1,587	0,037
3	1,685	1,627	1,629	1,647	0,033
4	1,738	1,693	1,65	1,694	0,044
5	1,662	1,698	1,732	1,697	0,035
int	1,664	1,650	1,643	1,652	0,011
Media	1,664	1,651	1,643	1,652	0,035
DesvPad	0,057	0,042	0,064	0,046	0,007

Tabela A.3 – Peso específico seco dos segmentos da coluna nos diferentes ensaios.

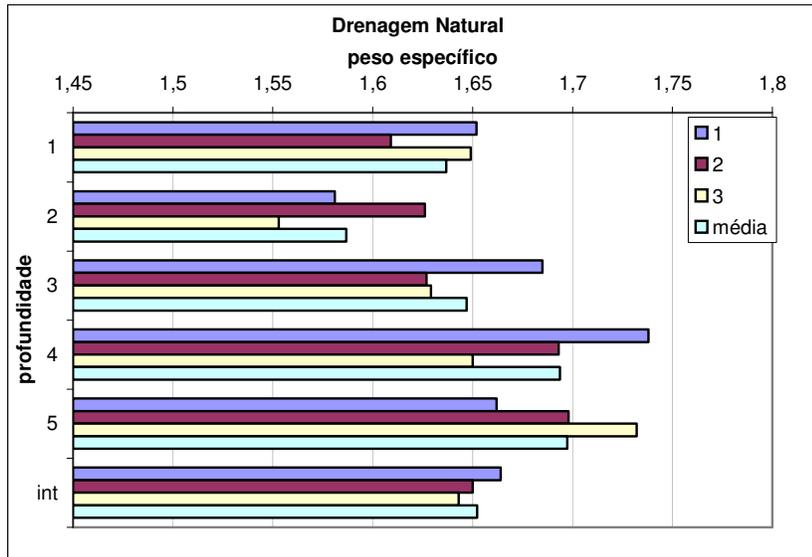


Figura A.3 – Peso específico dos segmentos da coluna nos diferentes ensaios.

A.1.2 Bomba de Sucção

Estão apresentados na tabela A.4, os dados relativos à umidade do solo nos diferentes segmentos da coluna para o caso da drenagem com bomba de sucção.

Bomba de Sucção						
Propriedade	Umidade (%)					
Coluna / Repetições	1	2	3	4	Media	DesvPad
1	5,17	12,55	6,13	1,40	6,31	4,63
2	2,16	-0,77	0,15	1,10	0,66	1,26
3	8,34	1,59	4,42	4,76	4,78	2,77
4	-0,31	3,96	4,14	4,19	3,00	2,21
5	2,83	0,51	3,21	1,22	1,94	1,29
int	3,62	3,39	3,65	2,56	3,31	0,51
Media	3,64	3,57	3,61	2,53	3,34	0,54
DesvPad	3,27	5,31	2,20	1,79	2,24	1,39

Tabela A.4 – Umidade dos segmentos após drenagem com bomba de sucção.

Os valores negativos observados nesta e em outras tabelas muito provavelmente se devem a erros humanos no momento de segmentação das colunas para posterior pesagem.

A figura A.4 mostra os resultados referentes à umidade do solo ao longo dos segmentos.

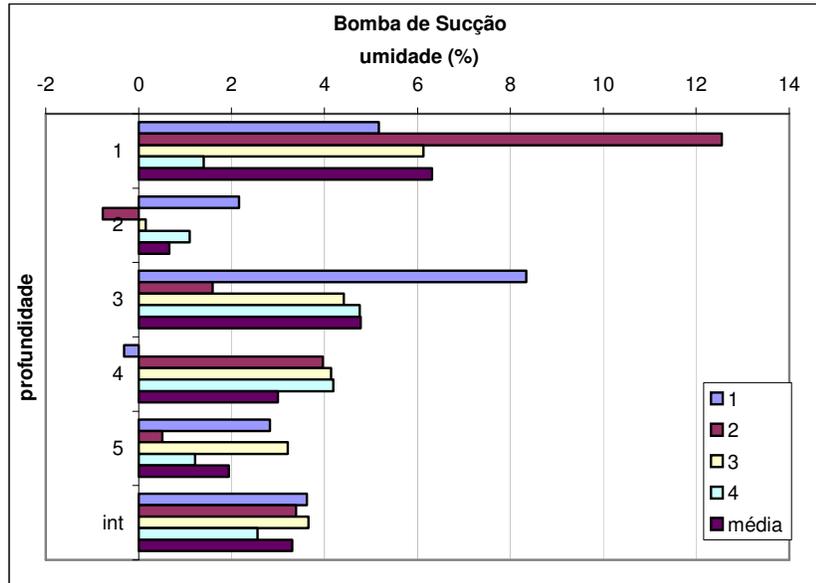


Figura A.4 – Umidade dos segmentos após drenagem com bomba de sucção.

Os resultados referentes à saturação dos segmentos após a drenagem constam na tabela A.5.

Bomba de Sucção						
Propriedade	Saturação (%)					
Coluna / Repetições	1	2	3	4	Media	DesvPad
1	21,69	48,92	30,63	6,59	26,96	17,69
2	11,08	-3,99	0,75	4,30	3,04	6,35
3	35,87	8,10	20,14	21,36	21,37	11,37
4	-1,64	20,2	21,81	22,73	15,78	11,66
5	17,33	3,12	18,7	6,89	11,51	7,69
int	17,90	17,01	18,75	12,58	16,56	2,75
Media	16,87	15,27	18,41	12,37	15,73	10,95
DesvPad	13,79	20,78	10,91	8,90	9,18	4,41

Tabela A.5 – Saturação dos segmentos após drenagem com bomba de sucção.

A figura A.5 ilustra graficamente os resultados apresentados anteriormente.

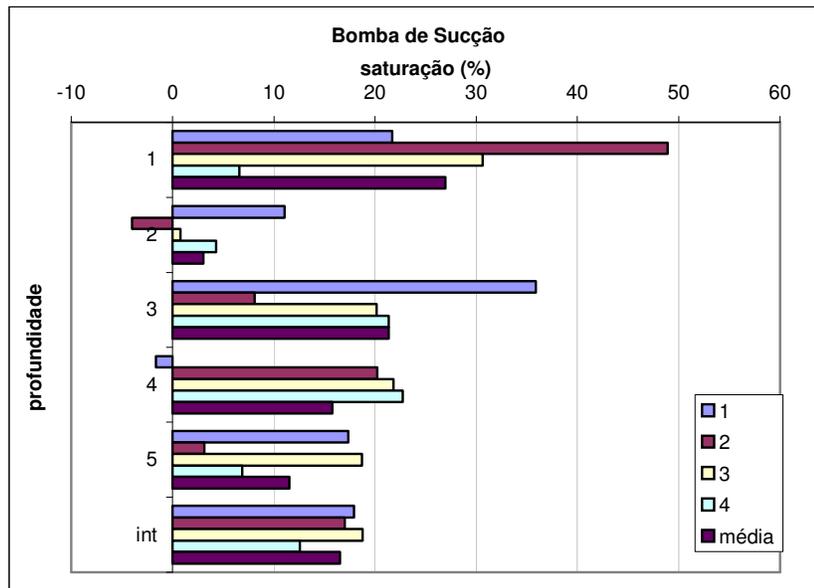


Figura A.5 – Saturação dos segmentos após drenagem com bomba de sucção.

Os valores relativos ao peso específico do solo estão representados na tabela A.6 e na figura A.6.

Bomba de Sucção						
Propriedade	γ_d (g/cm ³)					
Coluna / Repetições	1	2	3	4	Media	DesvPad
1	1,544	1,502	1,64	1,606	1,573	0,06180615
2	1,655	1,659	1,65	1,579	1,63575	0,03801206
3	1,558	1,651	1,59	1,581	1,595	0,03969047
4	1,666	1,652	1,669	1,684	1,66775	0,0131244
5	1,747	1,87	1,722	1,705	1,761	0,07468601
int	1,635	1,642	1,656	1,631	1,641	0,01098484
Media	1,634	1,6668	1,6542	1,631	0	0
DesvPad	0,08383019	0,13131908	0,04784558	0,05940118	0	0

Tabela A.6 – Peso específico dos segmentos nos diferentes ensaios.

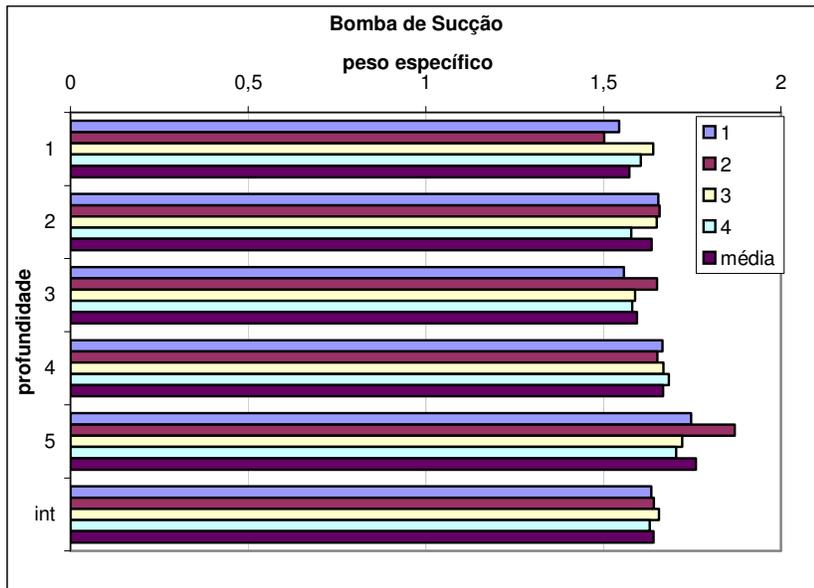


Figura A.6 – Peso específico dos segmentos.

A.1.3 Areia

A tabela A.7 e a figura A.7 mostram os dados referentes à umidade dos segmentos de solo após a etapa de drenagem com areia.

Areia						
Propriedade	Umidade (%)					
Coluna / Repetições	1	2	3	4	Media	DesvPad
1	8,24	x	5,21	3,71	4,29	3,42
2	0,68	3,89	1,74	11,79	4,53	5,02
3	3,53	5,25	6,45	0,83	4,02	2,44
4	4,80	14,34	7,39	9,76	9,07	4,05
5	5,76	8,02	15,91	16,65	11,59	5,51
int	4,83	x	7,47	8,70	7,00	1,98
Media	4,60	6,30	7,34	8,55	6,70	4,09
DesvPad	2,79	5,34	5,25	6,34	3,44	1,23

Tabela A.7 – Umidade dos segmentos após drenagem com areia.

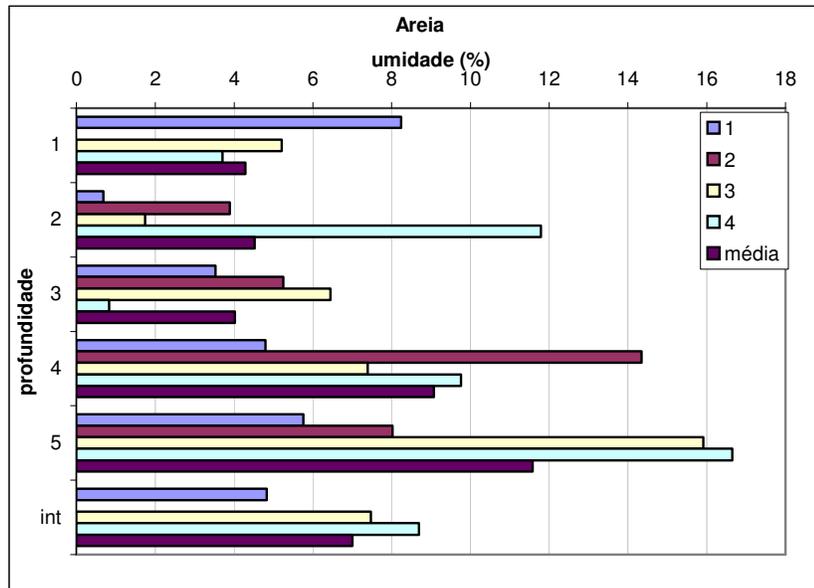


Figura A.7 – Umidade dos segmentos após drenagem com areia.

A tabela A.8 e a figura A.8 mostram os resultados referentes à saturação das esferas de vidro.

Areia						
Propriedade	Saturação (%)					
Coluna / Repetições	1	2	3	4	Media	DesvPad
1	42,24	x	24,64	18,87	21,44	17,41
2	3,48	19,67	8,20	48,99	20,09	20,43
3	18,27	26,46	31,13	4,25	20,03	11,79
4	22,00	66,48	39,73	49,21	44,36	18,57
5	43,97	60,11	94,29	96,56	73,73	25,92
int	26,29	x	37,96	43,55	35,93	8,81
Media	25,99	34,54	39,60	43,58	35,93	18,82
DesvPad	17,10	28,08	32,68	35,44	23,53	5,11

Tabela A.8 – Saturação dos segmentos após drenagem com areia.

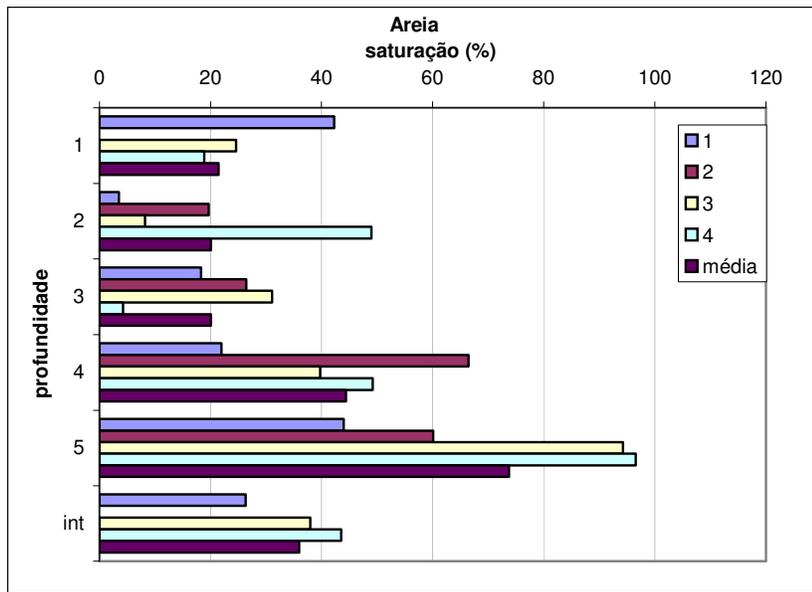


Figura A.8 – Saturação dos segmentos após drenagem com areia.

A partir dos resultados referentes ao peso específico seco de cada segmento da coluna nas diferentes repetições dos testes de drenagem com areia foi elaborada a tabela A.9.

Propriedade	Areia					
	γ_d (g/cm ³)					
Coluna / Repetições	1	2	3	4	Media	DesvPad
1	1,654	x	1,61	1,651	1,229	0,819
2	1,655	1,647	1,609	1,538	1,612	0,053
3	1,659	1,645	1,622	1,656	1,646	0,017
4	1,593	1,6	1,679	1,645	1,629	0,040
5	1,850	1,842	1,73	1,719	1,785	0,070
int	1,686	x	1,65	1,642	1,659	0,023
Media	1,682	1,347	1,650	1,642	1,580	0,200
DesvPad	0,098	0,759	0,053	0,065	0,208	0,347

Tabela A.9 – Peso específico dos segmentos.

A figura A.9 representa os resultados apresentados na tabela A.9.

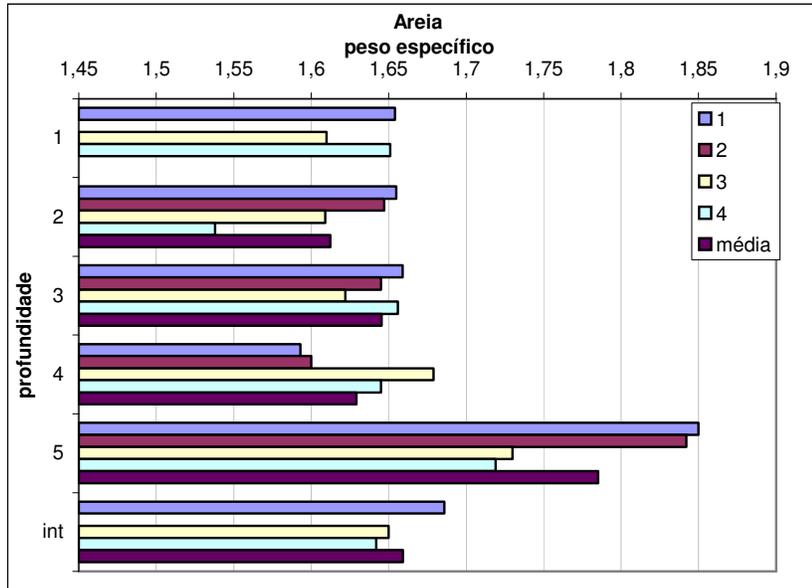


Figura A.9 – Pesos específicos dos segmentos.

A.1.4 Drenagem Natural x Bomba de Sucção x Areia

A figura A.10 ilustra graficamente os resultados das médias dos tipos de drenagem testados.

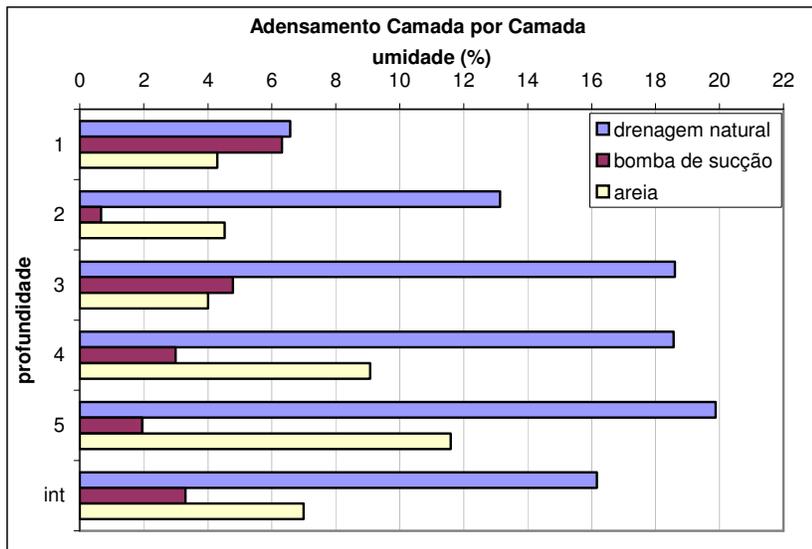


Figura A.10 – Umidade dos segmentos nos diferentes tipos de drenagem.

Os resultados obtidos quando foi utilizada a drenagem natural foram bem mais elevados do que os obtidos em qualquer outro tipo de drenagem. Entretanto,

valores de umidade elevados não são vantajosos para a execução dos ensaios de contaminação especialmente por conta do tamanho da franja capilar do solo.

A bomba de sucção fez com que a umidade do solo variasse inversamente proporcional à profundidade. Desta forma, a franja capilar do solo ficou bastante reduzida, no entanto, as ressalvas feitas este método no corpo deste trabalho foram de suma importância na análise da viabilidade de sua utilização.

Os valores obtidos a partir da drenagem com areia foram mais elevados do que na bomba de sucção, e aumentaram com a profundidade. A franja capilar do solo não foi totalmente drenada justificando inclusive os valores consideravelmente mais elevados de umidade nos dois últimos segmentos, no entanto, a distribuição da água no solo se mostrou bastante homogênea nos segmentos superiores.

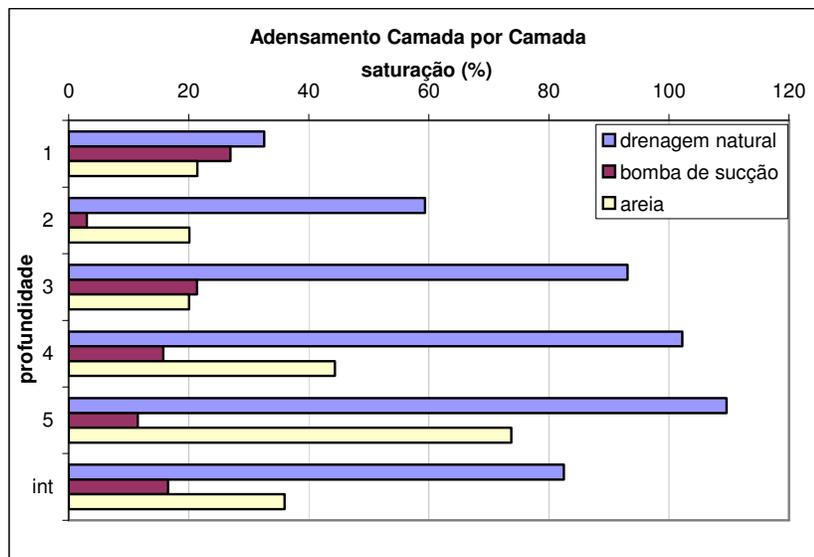


Figura A.11 – Saturação dos segmentos nos diferentes tipos de drenagem.

A figura A.11 ilustra graficamente a saturação dos segmentos ao longo da coluna e contribuiu bastante para que se chegasse à conclusão de que a drenagem natural não seria o método de drenagem mais adequado já que o objetivo dos testes era trabalhar com a zona não saturada do solo.

A saturação do solo para o caso da drenagem com a bomba de sucção apresentou valores muito baixos, mas que atendiam à demanda e ao objetivo de trabalhar com a zona não saturada do solo. No entanto, os valores obtidos no caso

da drenagem com areia ficaram na mesma faixa à exceção dos dois últimos segmentos, representados pela franja capilar do solo que, neste caso, não foi totalmente eliminada.

A.2 Adensamento Coluna Inteira

Neste item serão apresentados os resultados referentes aos testes dos diferentes tipos de drenagem das colunas adensadas de uma só vez. Assim como no adensamento camada por camada, foram realizados testes com drenagem natural, bomba de sucção e areia. No entanto, neste caso, foi testada a drenagem com tubo, elaborada a partir do princípio dos vasos comunicantes.

Os primeiros testes foram executados em coluna de 25cm, porém ao longo dos ensaios percebeu-se a importância de aumentar a altura da coluna como uma solução para se obter uma maior área de interesse de estudo. Portanto, os testes de drenagem com a areia e com o tubo sofreram algumas adaptações, como a altura da coluna, que passou para 40cm.

Como a coluna foi toda adensada de uma só vez, não foi possível extrair a massa de solo de cada segmento da coluna. Portanto, foi utilizada nas tabelas do excel, para fins de cálculo de umidade, saturação e peso específico seco, uma simples estimativa da massa de solo obtida através das médias e das porcentagens de solo em cada segmento em todos os testes realizados utilizando a metodologia de adensamento camada por camada.

A.2.1 Drenagem Natural

A tabela A.10 apresenta os resultados referentes à umidade dos segmentos de coluna.

Drenagem Natural				
Propriedade	Umidade (%)			
Coluna / Repetições	1	2	Media	DesvPad
1	-5,60	5,08	-0,26	7,55
2	17,5	13,32	15,41	2,96
3	28,42	24,76	26,59	2,59
4	27,00	26,44	26,72	0,40
5	18,67	14,7	16,685	2,81
6	x	x	x	x
7	x	x	x	x
8	x	x	x	x
int	16,68	16,71	16,70	0,02
Media	17,20	16,86	17,03	3,26
DesvPad	13,64	8,81	11,03	2,62

Tabela A.10 – Umidade dos segmentos após drenagem natural.

A figura A.12 ilustra graficamente os resultados dos testes apresentados na tabela A.10.

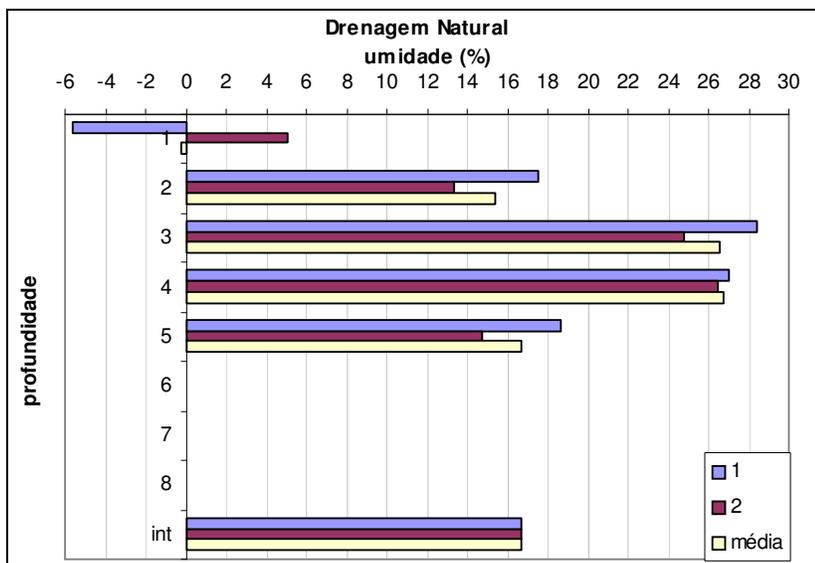


Figura A.12 – Umidade dos segmentos após a drenagem natural.

A tabela A.11 apresenta os dados referentes à saturação dos segmentos da coluna.

Drenagem Natural				
Propriedade	Saturação (%)			
Coluna / Repetições	1	2	Media	DesvPad
1	-23,15	21,39	-0,88	31,49
2	72,85	56,49	64,67	11,57
3	119,93	106,52	113,23	9,48
4	120,01	119,85	119,93	0,11
5	98,84	79,60	89,22	13,60
6	x	x	x	x
7	x	x	x	x
8	x	x	x	x
int	73,83	75,42	74,63	1,12
Média	77,70	76,77	77,23	13,25
DesvPad	59,61	39,46	48,79	11,43

Tabela A.11 – Saturação dos segmentos após a drenagem natural.

A figura A.13 ilustra graficamente estes resultados.

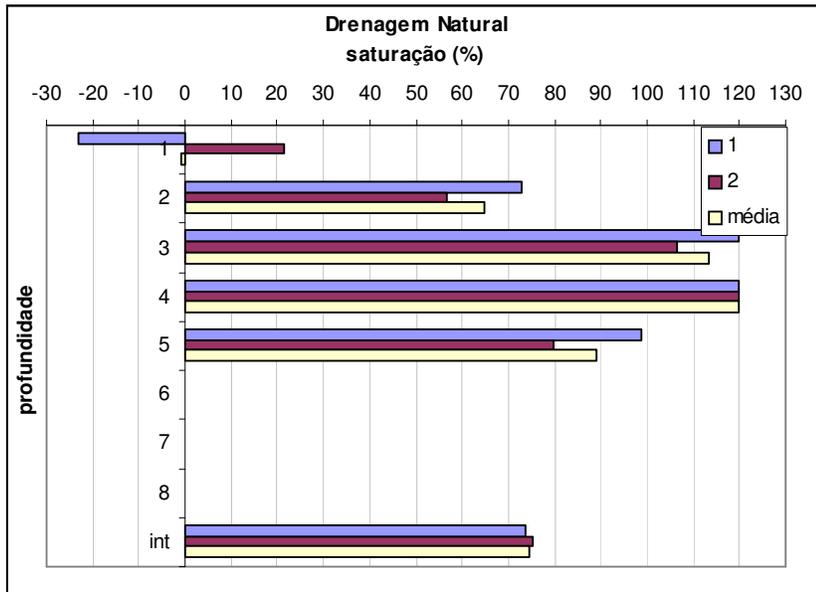


Figura A.13 – Saturação do segmentos após a drenagem natural.

Os dados referentes ao peso específico seco dos segmentos de solo das colunas nos testes de drenagem natural estão apresentados na tabela A.12.

Drenagem Natural				
Propriedade	γ_d (g/cm ³)			
Coluna / Repetições	1	2	Media	DesvPad
1	1,535	1,546	1,5405	0,0078
2	1,539	1,55	1,5445	0,0078
3	1,547	1,558	1,5525	0,0078
4	1,576	1,587	1,5815	0,0078
5	1,672	1,683	1,6775	0,0078
6	x	x	x	x
7	x	x	x	x
8	x	x	x	x
int	1,57	1,59	1,58	0,0078
Média	1,57	1,58	1,58	0,0078
DesvPad	0,06	0,06	0,06	0

Tabela A.12 – Peso específico dos segmentos.

A figura A.14 ilustra graficamente os resultados apresentados na tabela.

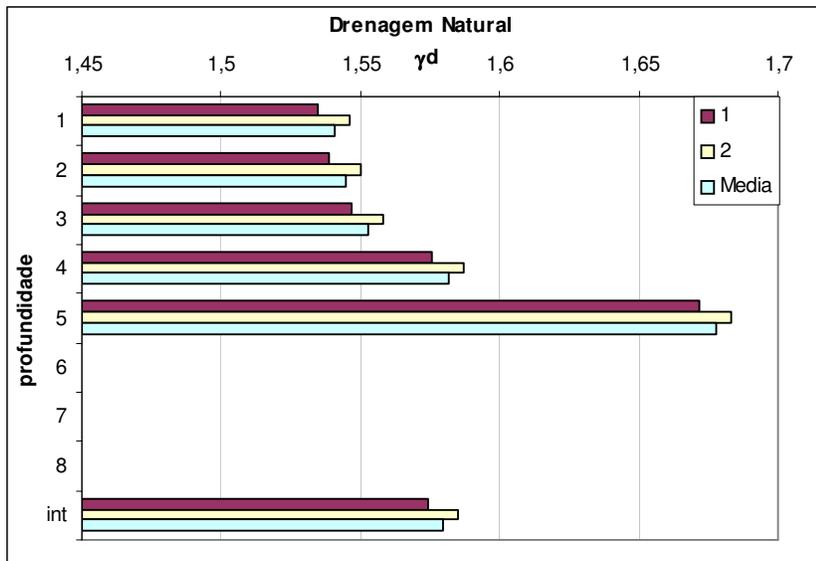


Figura A.14 – Peso específico dos segmentos.

A.2.2 Bomba de Sucção

A tabela A.13 mostra os resultados relativos à umidade dos segmentos da coluna obtidos em todos os ensaios de drenagem através da bomba de sucção.

Bomba de Sucção					
Propriedade	Umidade (%)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	9,44	-2,65	4,25	3,68	6,07
2	7,15	7,39	2,29	5,61	2,88
3	4,87	7,04	7,25	6,39	1,32
4	3,03	9,54	8,45	7,01	3,49
5	-0,24	6,72	2,33	2,94	3,52
6	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
int	4,77	5,86	5,28	5,30	0,55
Media	4,85	5,61	4,91	5,12	3,45
DesvPad	3,73	4,75	2,83	1,75	1,71

Tabela A.13 – Umidade dos segmentos após drenagem com bomba de sucção.

A figura A.15 ilustra graficamente os dados apresentados na tabela A.13.

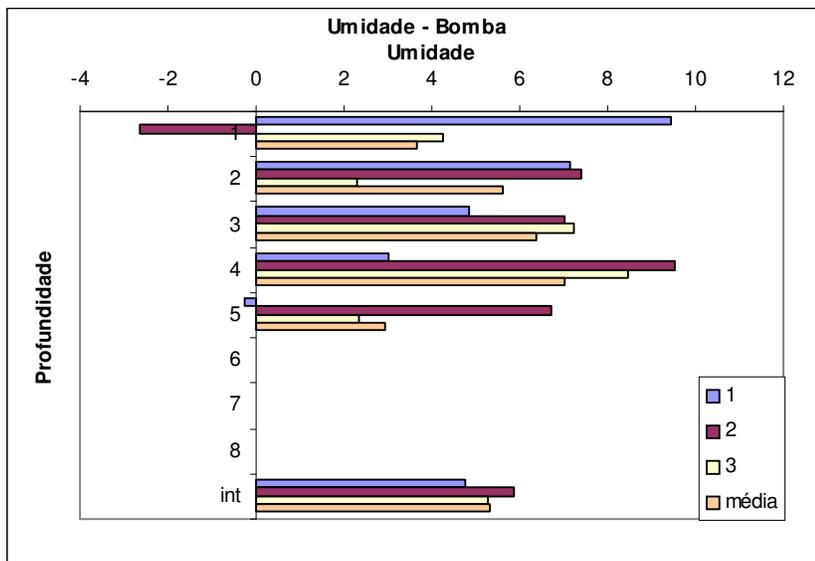


Figura A.15 – Umidade dos segmentos após drenagem com bomba de sucção.

A tabela A.14 representa a saturação dos segmentos de coluna após os testes de drenagem com a bomba de sucção.

Bomba de Sucção					
Propriedade	Saturação (%)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	42,12	-11,35	18,73	16,50	26,80
2	32,17	31,85	10,16	24,73	12,62
3	22,20	30,75	32,70	28,55	5,59
4	14,60	43,96	40,23	32,93	15,98
5	-1,40	37,04	13,30	16,31	19,40
6	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
int	22,89	26,87	25,03	24,93	1,99
Media	21,94	26,45	23,02	23,80	16,08
DesvPad	16,66	21,77	12,92	7,35	7,88

Tabela A.14 – Saturação dos segmentos após drenagem com bomba de sucção.

A figura A.16 mostra os resultados da saturação dos segmentos da coluna apresentados na tabela A.14.

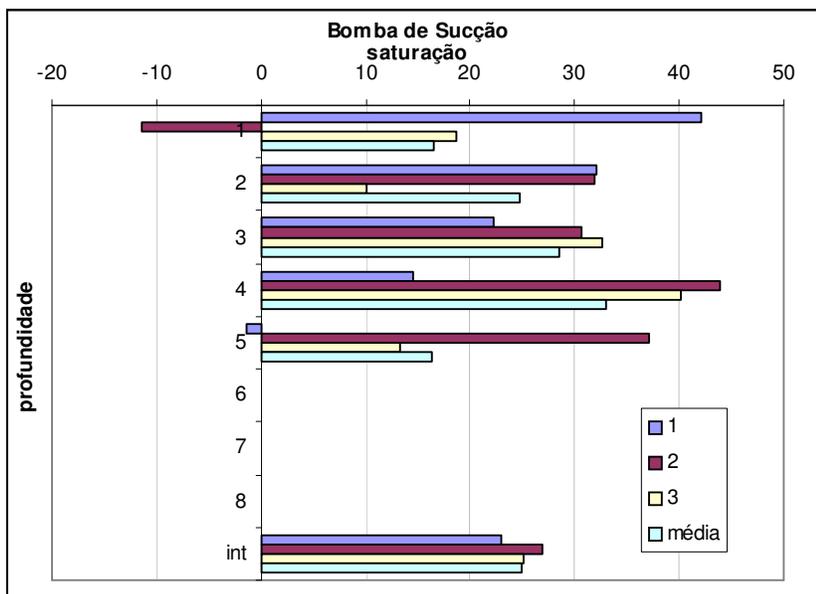


Figura A.16 – Saturação dos segmentos após drenagem com bomba de sucção.

A tabela A.15 apresenta os resultados referentes ao peso específico dos segmentos após a drenagem com a bomba de sucção.

Bomba de Sucção					
Propriedade	γ_d (g/cm ³)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	1,578	1,554	1,572	1,568	0,012
2	1,583	1,554	1,572	1,570	0,015
3	1,591	1,567	1,584	1,581	0,012
4	1,621	1,596	1,584	1,600	0,019
5	1,621	1,596	1,614	1,610	0,013
6	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
int	1,618	1,594	1,612	1,608	0,012
Media	1,599	1,573	1,585	1,586	0,014
DesvPad	0,021	0,021	0,017	0,019	0,003

Tabela A.15 – Peso específico dos segmentos.

A figura A.17 ilustra graficamente os resultados apresentados anteriormente.

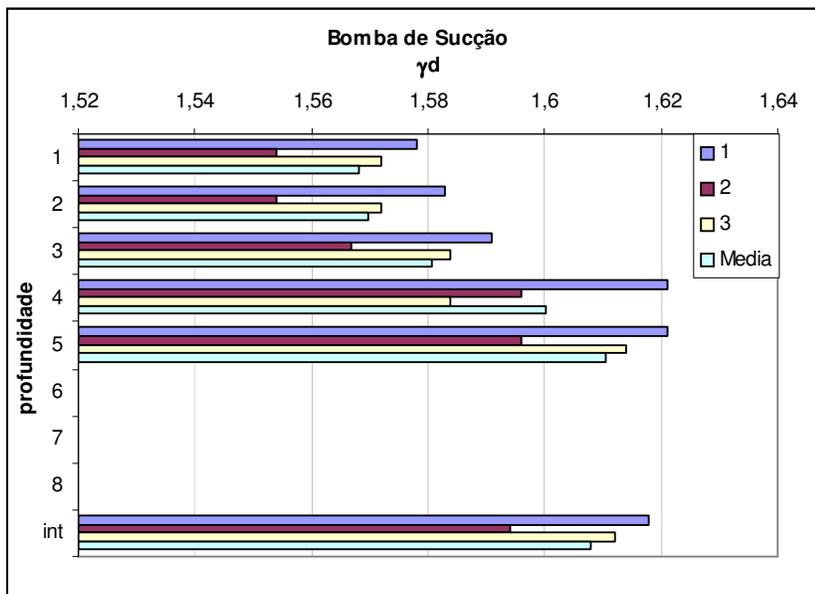


Figura A.17 – Peso específico dos segmentos.

A.2.3 Areia

Os testes de drenagem com a areia foram executados para alturas de coluna de 25cm e de 40cm.

A tabela A.16 refere-se aos resultados relativos à umidade dos segmentos de solo da coluna de 25 cm.

Areia					
Propriedade	Umidade (%)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	-0,05	4,01	4,91	2,96	2,64
2	6,00	6,83	3,23	5,35	1,89
3	6,58	4,46	9,02	6,69	2,28
4	7,05	5,45	11,45	7,98	3,11
5	4,59	12,45	14,92	10,65	5,39
6	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
int	5,28	5,77	9,02	6,69	2,03
Media	4,83	6,64	8,71	6,73	3,06
DesvPad	2,88	3,42	4,76	2,88	1,38

Tabela A.16 – Umidade dos segmentos após drenagem com areia.

A figura A.18 mostra os resultados apresentados na tabela A.16.

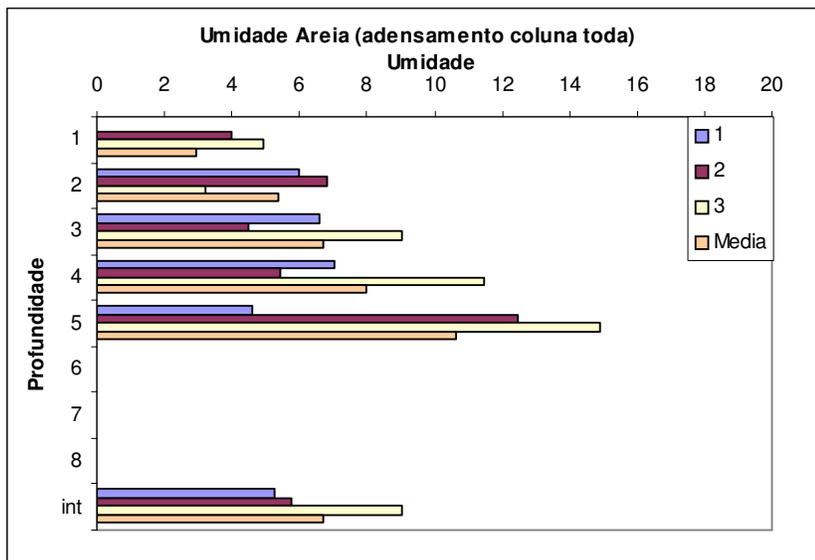


Figura A.18 – Umidade dos segmentos após drenagem com areia.

A tabela A.17 e a figura A.19 apresentam e ilustram graficamente os resultados dos testes de drenagem com areia realizados em colunas de 40cm.

Areia (40cm)						
Propriedade	Umidade (%)					
Coluna / Repetições	1	2	3	4	Media	DesvPad
1	1,89	3,11	3,59	3,97	3,14	0,90
2	-0,37	-1,81	1,58	-0,47	-0,27	1,40
3	-1,41	3,51	2,84	0,84	1,45	2,22
4	4,28	0,45	0,53	1,04	1,58	1,82
5	3,87	1,18	1,72	1,8	2,14	1,18
6	3,82	1,7	1,04	2,75	2,33	1,22
7	16,00	11,58	11,78	10,94	12,58	2,31
8	23,18	13,01	11,62	9,52	14,33	6,07
int	6,53	4,16	4,40	3,83	4,73	1,22
Media	6,41	4,09	4,34	3,80	4,66	2,14
DesvPad	8,61	5,33	4,65	4,20	5,53	1,67

Tabela A.17 – Umidade dos segmentos da coluna de 40cm após drenagem com areia.

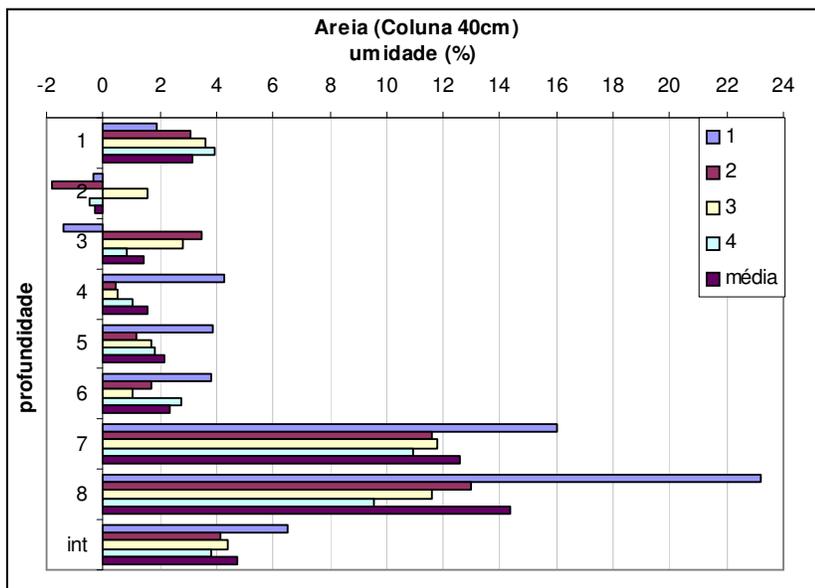


Figura A.19 – Umidade dos segmentos da coluna de 40cm após drenagem com areia.

A tabela A.18 e a figura A.20 mostram os resultados relativos à saturação dos diferentes segmentos da coluna nos ensaios em que sua altura foi de 25cm.

Areia					
Propriedade	Saturação (%)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	-0,23	18,00	21,77	13,18	11,77
2	25,97	30,91	14,43	23,77	8,46
3	28,84	20,47	40,86	30,06	10,25
4	32,59	26,43	54,81	37,94	14,93
5	25,42	72,71	85,79	61,31	31,76
6	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
int	24,31	27,86	42,96	31,71	9,90
Media	22,52	33,70	43,53	33,25	15,43
DesvPad	13,03	22,38	28,46	18,11	9,43

Tabela A.18 – Saturação dos segmentos após drenagem com areia.

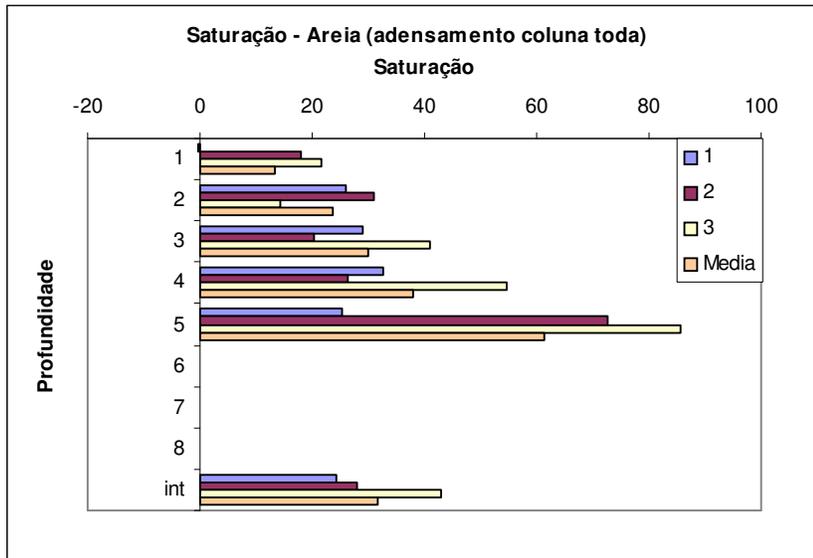


Figura A.20 – Saturação dos segmentos após drenagem com areia.

Serão apresentados na tabela A.19 os resultados obtidos nos ensaios em que a coluna já havia sido adaptada para uma altura igual a 40cm.

Areia (40cm)						
Propriedade	Saturação (%)					
Coluna / Repetições	1	2	3	4	Media	DesvPad
1	9,36	15,3	17,8	19,82	15,57	4,53
2	-1,81	-8,89	7,84	-2,35	-1,30	6,89
3	-7,00	17,23	14,08	4,19	7,13	10,93
4	21,22	2,23	2,64	5,19	7,82	9,03
5	19,20	5,79	8,53	9,01	10,63	5,89
6	18,95	5,77	5,14	13,74	10,90	6,64
7	79,35	56,9	58,41	54,63	62,32	11,46
8	114,98	63,9	57,59	47,55	71,01	30,08
int	32,39	20,44	21,84	19,15	23,46	6,06
Media	31,78	19,78	21,50	18,97	23,01	10,68
DesvPad	42,69	26,38	23,03	20,97	27,46	8,20

Tabela A.19 – Saturação dos segmentos da coluna de 40cm após drenagem com areia.

A figura A.21 ilustra graficamente a saturação dos segmentos da coluna após a drenagem.

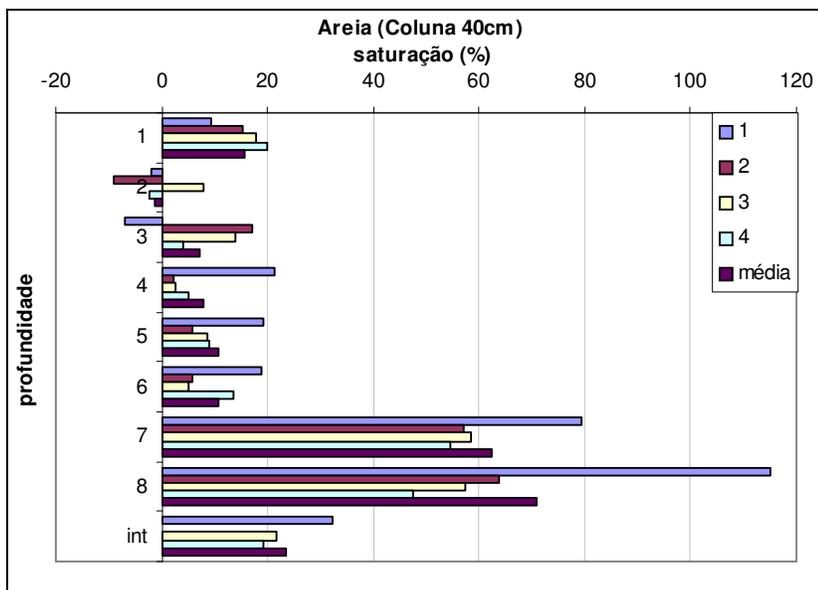


Figura A.21 – Saturação dos segmentos da coluna de 40cm após drenagem com areia.

A tabela A20 representa os resultados relativos ao peso específico seco dos segmentos de solo e da coluna inteira. Neste caso, serão somente apresentados os dados referentes aos testes realizados com coluna de 25cm.

Areia					
Propriedade	γ_d (g/cm ³)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	1,557	1,582	1,575	1,571	0,013
2	1,561	1,587	1,579	1,576	0,013
3	1,569	1,594	1,587	1,583	0,013
4	1,598	1,625	1,617	1,613	0,014
5	1,695	1,722	1,714	1,710	0,014
6	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
int	1,596	1,622	1,614	1,611	0,013
Media	1,596	1,622	1,614	1,611	0,013
DesvPad	0,058	0,058	0,058	0,058	0,000

Tabela A.20 – Peso específico dos segmentos.

A figura A.22 ilustra graficamente os dados apresentados anteriormente.

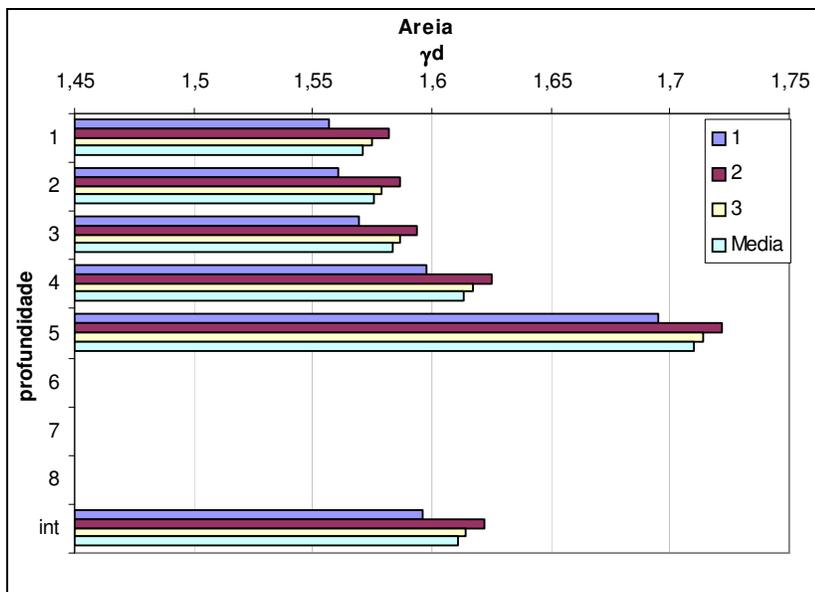


Figura A.22 – Peso específico dos segmentos.

A.2.4 Tubo

A tabela A.21 apresenta os resultados de umidade dos segmentos de solo após os testes de drenagem com tubo.

Tubo					
Propriedade	Umidade (%)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	12,91	6,13	2,32	7,12	5,36
2	-1,06	0,75	3,5	1,06	2,30
3	5,34	6,15	6,14	5,88	0,46
4	3,55	2,64	5,38	3,86	1,40
5	9,95	6,22	9,27	8,48	1,99
6	7,83	12,8	15,24	11,96	3,78
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
int	6,48	5,92	7,07	6,49	0,58
Media	6,14	4,38	5,32	5,28	2,30
DesvPad	5,47	2,54	2,67	2,91	1,85

Tabela A.21 – Umidade dos segmentos após drenagem com tubo.

A figura A.23 ilustra graficamente os dados obtidos para a umidade dos segmentos.

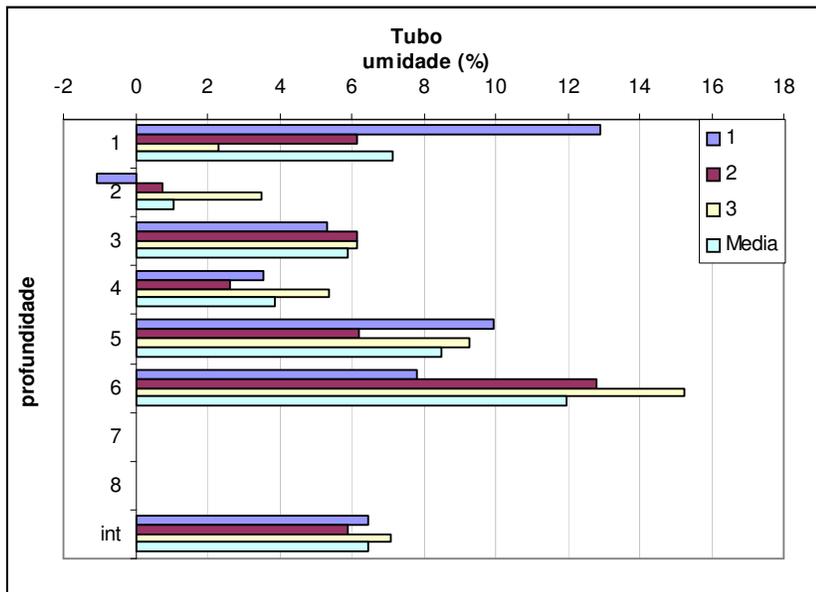


Figura A.23 - Umidade dos segmentos após drenagem com tubo.

Neste tipo de drenagem, optou-se por testar também um tubo de 1m de comprimento no intuito de verificar se haveria diferenças no que diz respeito à drenagem do material. Neste caso, já havia sido tomada a decisão de aumentar o tamanho da coluna para 40cm, portanto todos os testes foram conduzidos com a altura já modificada.

A tabela A.22 apresenta os resultados referentes à umidade dos segmentos de solo da coluna de 40cm após a drenagem com tubo de 1m.

Tubo (1m)							
Propriedade	Umidade (%)						
Coluna / Repetições	1	2	3	4	5	Media	DesvPad
1	-1,46	1,14	8,00	4,90	-0,93	2,33	4,04
2	3,81	1,55	7,04	-0,21	1,34	2,71	2,82
3	4,96	3,91	8,4	2,64	1,32	4,25	2,69
4	3,16	5,14	8,83	3,26	5,97	5,27	2,33
5	5,41	1,98	11,13	1,72	3,59	4,77	3,85
6	2,27	3,75	9,25	7,12	7,81	6,04	2,92
7	11,23	12,4	19,22	10,86	11,72	13,09	3,48
8	12,48	10,28	13,40	11,88	9,29	11,47	1,66
int	5,04	4,91	4,57	5,39	5,07	5,00	0,30
Media	5,23	5,02	10,66	5,27	5,01	6,24	2,97
DesvPad	4,61	4,16	3,99	4,34	4,42	3,95	0,79

Tabela A.22 - Umidade dos segmentos da coluna de 40cm após drenagem com tubo.

A figura A.24 mostra os resultados dos ensaios, apresentados na tabela A.22.

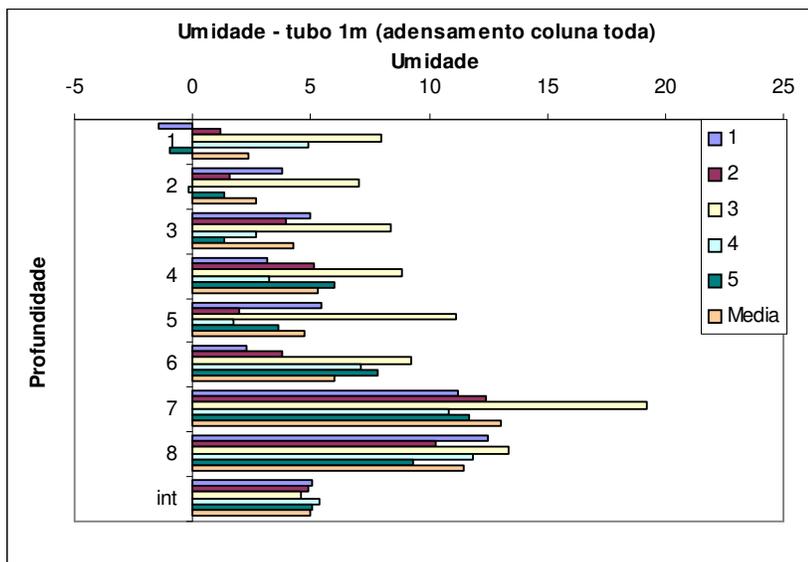


Figura A.24 - Umidade dos segmentos da coluna de 40cm após drenagem com tubo.

Serão apresentados na tabela A.23 os resultados relativos à saturação dos segmentos da coluna após a drenagem com o tubo.

Tubo					
Propriedade	Saturação (%)				
Coluna / Repetições	1	2	3	Media	DesvPad
1	39,07	29,39	10,65	26,37	14,45
2	-5,12	3,61	16,04	4,84	10,63
3	25,80	29,48	28,15	27,81	1,86
4	17,15	12,68	24,66	18,16	6,05
5	48,04	29,82	42,51	40,12	9,34
6	37,79	61,39	69,94	56,37	16,65
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
int	28,44	28,38	32,45	29,76	2,33
Media	24,99	21,00	24,40	23,46	8,47
DesvPad	20,61	12,16	12,26	13,04	4,76

Tabela A.23 – Saturação dos segmentos após drenagem com tubo.

A figura A.25 se refere ao primeiro tubo testado.

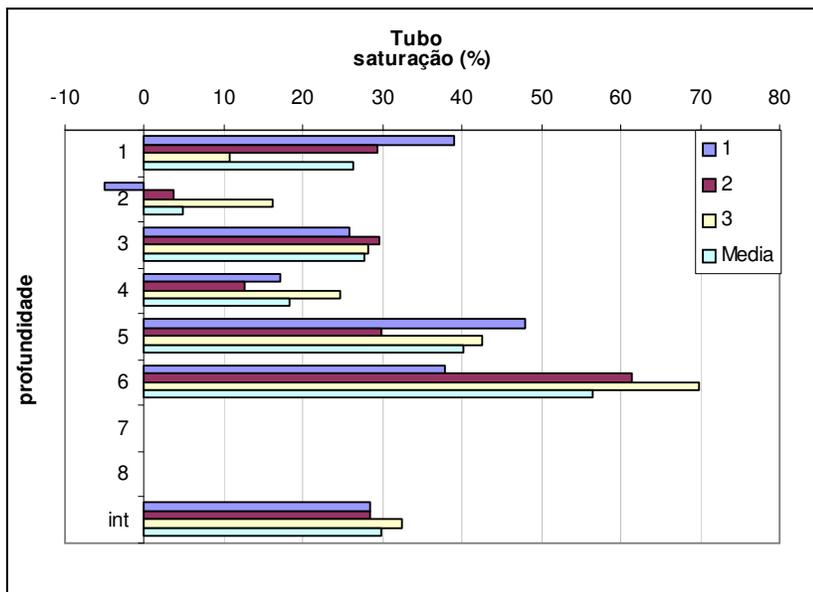


Figura A.25 - Saturação dos segmentos após drenagem com tubo.

A tabela A.24 apresenta a saturação dos diferentes segmentos de solo após a drenagem através do tubo de 1m.

Tubo (1m)							
Propriedade	Saturação (%)						
Coluna / Repetições	1	2	3	4	5	Media	DesvPad
1	-6,62	5,16	37,08	23,28	-4,28	10,92	18,77
2	17,30	7,02	32,65	-1,00	6,18	12,43	13,05
3	22,52	17,68	38,96	12,55	6,10	19,56	12,44
4	14,32	23,23	40,95	15,5	27,49	24,30	10,79
5	24,53	8,96	51,62	8,16	16,56	21,97	17,85
6	10,32	16,95	42,87	33,83	35,99	27,99	13,73
7	50,96	56,09	89,09	51,6	53,99	60,35	16,20
8	56,61	46,51	62,11	56,48	42,80	52,90	7,97
int	22,85	22,20	21,19	25,60	23,37	23,04	1,65
Media	23,74	22,70	49,42	25,05	19,02	28,80	13,85
DesvPad	20,89	18,83	18,51	20,65	20,34	18,19	3,63

Tabela A.24 - Saturação dos segmentos da coluna de 40cm após drenagem com tubo.

A figura A.26 ilustra graficamente a saturação dos segmentos utilizando drenagem com tubo de 1m.

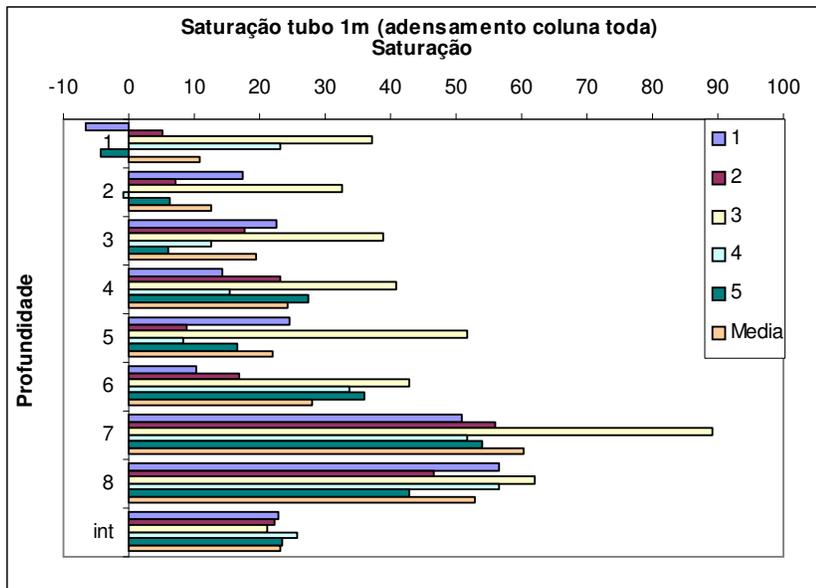


Figura A.26 - Saturação dos segmentos da coluna de 40 cm após drenagem com tubo.

Nos testes de drenagem utilizando tubo, não foi possível realizar a mesma estimativa com relação à massa de solo em cada segmento, uma vez que não foram conduzidos ensaios de drenagem utilizando esta metodologia para o caso das colunas em que o adensamento se deu camada a camada. Desta forma, o peso específico seco do solo foi calculado somente para a coluna inteira, variando entre 1,588 e 1,613 g/cm³ nas diferentes repetições dos testes.

A.2.5 Comparação das Diferentes Metodologias de Drenagem

A figura A.27 ilustra graficamente os dados obtidos a partir dos testes realizados.

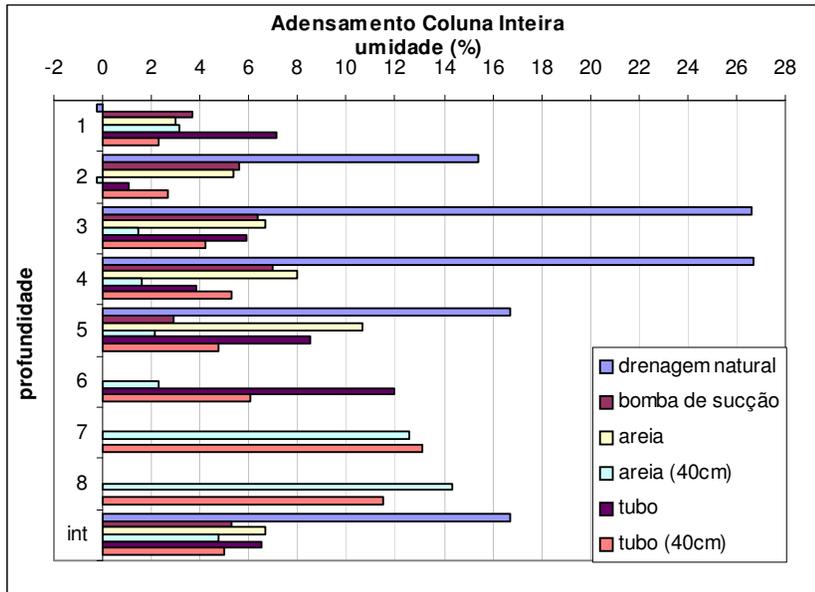


Figura A.27 – Umidade dos segmentos nas diferentes metodologias de drenagem.

Assim como nos testes com a drenagem natural nas colunas adensadas camada por camada, neste caso, os valores de umidade obtidos foram consideravelmente mais elevados do que nos outros tipos de drenagem testados.

Apesar de os resultados com a bomba de sucção se mostrarem bastante satisfatórios, o inconveniente deste método de drenagem, já mencionado ao longo do presente trabalho, foi a grande dificuldade de controlar a sucção aplicada ao solo e o fato de existir a possibilidade de a mesma estar contribuindo para o deslocamento dos grãos de solo ao longo da coluna.

Os resultados obtidos nos testes de drenagem com areia e drenagem com tubo foram os que mais se aproximaram do que se pretendia ao iniciar o desenvolvimento da metodologia do ensaio de contaminação.

A figura A.28 mostra os resultados relativos à saturação dos segmentos de solo ao longo da coluna.

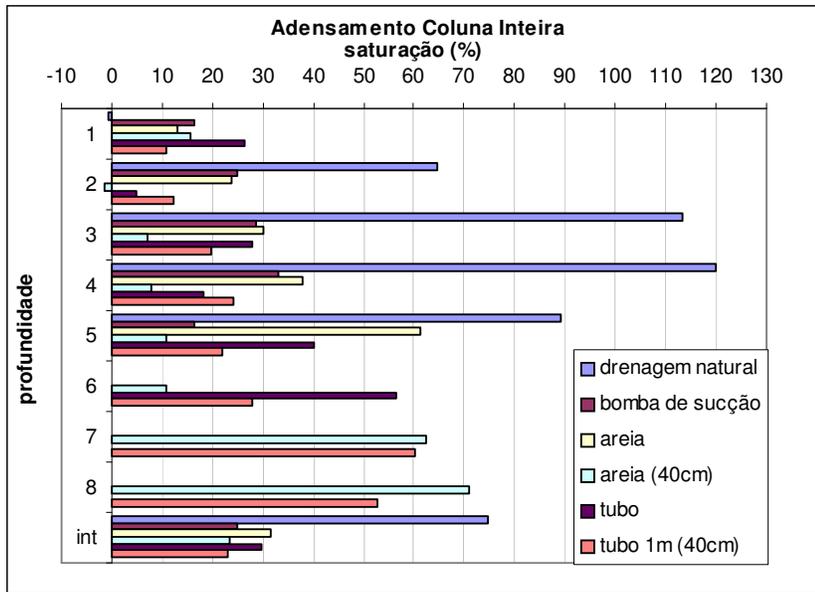


Figura A.28 – Saturação dos segmentos nas diferentes metodologias de drenagem.

Apêndice B

B.1 Análises Estatísticas

As análises foram executadas a partir de dados adjacentes ordenados em linha ou em coluna a partir de uma tabela gerada no excel, no intuito de verificar qual das metodologias de drenagem apresentava maior repetitividade entre ensaios e entre segmentos de coluna.

Foram levados em consideração os resultados relativos aos segmentos 2 a 6 das colunas de solo nas quatro repetições de cada metodologia de ensaio, para tal, os dados de uma das cinco repetições de ensaios com o tubo não foram utilizados. Os segmentos 7 e 8 foram descartados nesta análise por representarem a região da franja capilar do solo, cujas saturações mostraram-se bastante elevadas. Em se tratando do segmento relativo a extremidade superior da coluna, o primeiro segmento foi também desconsiderado nesta análise.

Em AREIA (colunas) – tabelas B.1 e B.2 – e TUBO (colunas) – tabelas B.3 e B.4 – foi feita a análise de dados entre as diferentes repetições dos ensaios. Portanto, os grupos Coluna 1, 2, 3 e 4 representam as quatro repetições dos ensaios para os segmentos de solo.

AREIA (colunas)				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	5	10,19	2,038	7,311
Coluna 2	5	5,03	1,006	3,755
Coluna 3	5	7,71	1,542	0,749
Coluna 4	5	5,96	1,192	1,427

Tabela B.1 – Análise estatística AREIA (colunas).

ANOVA - fator único - AREIA (colunas)						
Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,0889	3	1,0296	0,3110313	0,8171216	3,238867
Dentro dos grupos	52,9668	16	3,3104			
Total	56,0557	19				

Tabela B.2 - Análise estatística AREIA (colunas).

TUBO (colunas)				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	5	19,61	3,922	1,653
Coluna 2	5	16,33	3,266	2,190
Coluna 3	5	14,53	2,906	7,267
Coluna 4	5	20,03	4,006	8,206

Tabela B.3 - Análise estatística TUBO (colunas).

ANOVA - fator único - TUBO (colunas)						
Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,19606	3	1,398687	0,28963548	0,8322293	3,238867
Dentro dos grupos	77,26604	16	4,829128			
Total	81,4621	19				

Tabela B.4 - Análise estatística TUBO (colunas).

Em AREIA (linhas) – tabelas B.5 e B.6 – e TUBO (linhas) – tabelas B.7 e B.8 – foi feita a análise de dados dos diferentes segmentos de coluna entre ensaios. Desta forma, os grupos Linha 1, 2, 3, 4 e 5 representam os diferentes segmentos de coluna dos ensaios realizados. A finalidade desta análise foi verificar a repetitividade dos resultados entre os diferentes segmentos de solo de uma mesma coluna, ou seja, de um mesmo ensaio de drenagem.

AREIA (linhas)				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	4	-1,07	-0,268	1,948
Linha 2	4	5,78	1,445	4,909
Linha 3	4	6,30	1,575	3,320
Linha 4	4	8,57	2,143	1,402
Linha 5	4	9,31	2,328	1,486

Tabela B.5 - Análise estatística AREIA (linhas).

ANOVA - fator único - AREIA (linhas)						
Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	16,85947	4	4,214868	1,61298728	0,2225005	3,0555682
Dentro dos grupos	39,196225	15	2,613082			
Total	56,055695	19				

Tabela B.6 - Análise estatística AREIA (linhas).

TUBO (linhas)				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Linha 1	4	6,49	1,623	2,743
Linha 2	4	12,83	3,208	2,483
Linha 3	4	17,53	4,383	1,949
Linha 4	4	12,70	3,175	2,904
Linha 5	4	20,95	5,238	7,060

Tabela B.7 - Análise estatística TUBO (linhas).

ANOVA - fator único - TUBO (linhas)						
Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	30,0431	4	7,510775	2,19105049	0,1194371	3,0555682
Dentro dos grupos	51,419	15	3,427933			
Total	81,4621	19				

Tabela B.8 - Análise estatística TUBO (linhas).

A partir dos resultados da análise de dados apresentados nas tabelas B.1 e B.2 referente à AREIA (colunas) foi possível observar um valor *F* igual a 0,311031 bastante inferior ao *F*-crítico, portanto, neste caso, deve ser considerada a hipótese nula, ou seja, a de os conjuntos de dados fazerem parte de um mesmo grupo. O valor-*p* obtido, igual a 0,817122 (maior do que 0,05) veio a confirmar

esta hipótese, mostrando que houve grande repetitividade entre os dados obtidos nos diferentes ensaios.

As tabelas B.3 e B.4, por sua vez, apresentaram os resultados da análise dos dados relativos à TUBO (colunas), donde foi possível concluir que, como $F < F_{\text{crítico}}$, os conjuntos de dados também fazem parte de um mesmo grupo. O valor-p igual a 0,832229 (maior do que 0,05) também leva a crer que houve grande repetitividade entre os dados obtidos nos diferentes ensaios.

Os valores de umidades encontrados nas diferentes repetições, tanto dos ensaios de drenagem com areia quanto dos ensaios de drenagem com tubo, podem ser considerados iguais.

A análise de dados adjacentes ordenados em linhas referentes à drenagem com areia – AREIA (linhas) – mostrou que, apesar de ser mais elevado do que na análise de dados ordenados em colunas – AREIA (colunas) - o valor F foi menor do que F-crítico. Portanto, os resultados encontrados para os diferentes segmentos de coluna nos ensaios de drenagem podem também ser considerados como fazendo parte de um mesmo grupo. O mesmo pôde ser observado na análise da tabela representativa da condição TUBO (linhas).

Portanto, os valores de umidades encontrados entre os diferentes segmentos de solo da coluna, tanto na drenagem com areia quanto na drenagem com tubo, podem ser considerados iguais.

A variação dos resultados das análises de variância TUBO (colunas) x AREIA (colunas) foi calculada de maneira “tosca” no intuito de verificar se estes podem ser considerados iguais entre si. Desta forma, dividiu-se a diferença entre os valores-p pelo valor-p do tubo e obteve-se uma variação igual a 1,81%. Aplicou-se o mesmo conceito para TUBO (linhas) x AREIA (linhas) e obteve-se uma variação igual a 86,30%. Donde se conclui que há grande repetitividade entre ensaios do tubo e da areia, no entanto, esta repetitividade é bem menos elevada entre segmentos das diferentes metodologias de drenagem.