

Caracterização Geotécnica de um Perfil de Solo Não Saturado da Formação Barreiras da Cidade de Maceio-AL.

Ricardo Figueiredo Marques

Mestrando em Geotecnia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

Roberto Quental Coutinho

Professor Adjunto, D.Sc., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

Abel Galindo Marques

Professor Adjunto, M.Sc., Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil

RESUMO: Este trabalho apresenta os estudos de caracterização geotécnica de um perfil de solo não saturado da Formação Barreiras, localizado no campus da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, na cidade de Maceió- AL. Na área estudada, aflora apenas a Formação Barreiras, com sua litologia composta por sedimentos clásticos de origem continental, idade Plio-Plesitocênica (Terciário-Quaternário), inconsolidados, de cor amarelo-avermelhada, e constituídos por uma alternância de areias, argilas e siltes, que formam, no conjunto, um pacote de espessura variando entre 60 e 130 metros. Nesta região, o nível freático encontra-se geralmente abaixo dos 30 metros. Foram realizadas sondagens à percussão com SPT, determinação de perfis de umidade e ensaios de caracterização geotécnica em laboratório, a partir de amostras deformadas e indeformadas. Resultados dessa extensa campanha de investigação de campo e laboratório são apresentados neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Formação Barreiras, Solos Não Saturados, Investigações de Campo e Laboratório.

1 INTRODUÇÃO

A área de estudo está situada nos tabuleiros costeiros da Formação Barreiras da cidade de Maceió-AL. Devido a maior disponibilidade de áreas ainda desabitadas e à topografia plana, esta região tem apresentado grande crescimento urbano. O local escolhido para a realização deste estudo geotécnico foi o campus da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, onde pretende-se desenvolver um campo experimental de geotecnia e fundações. Vale destacar que este estudo faz parte dos trabalhos que estão sendo desenvolvidos em uma dissertação de mestrado na UFPE.

2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS E GEOLÓGICOS DA CIDADE DE MACEIÓ

O município de Maceió apresenta clima do

tipo As' de acordo com a classificação de Köppen, enquadrando-se como tropical chuvoso. A temperatura é elevada durante o ano todo, variando entre 20 e 33 °C (aprox.). Existem duas estações bem definidas: a chuvosa, de março a agosto, e a estação seca, de setembro a fevereiro. A pluviometria anual média é de aproximadamente 1480 mm, enquanto que a evapotranspiração potencial anual média é de 1193 mm, concentrando-se no quadrimestre outubro-janeiro, correspondente aos meses mais quentes do verão (Ferreira Neto et al. 2004).

Geomorfologicamente, Maceió dividi-se em três compartimentos em níveis topográficos distintos: o primeiro deles, mais recente, é datado de aproximadamente 5.000 anos A.P., que corresponde aos depósitos holocênicos com altitude que varia de 3 a 5 metros e estende-se por todo litoral (região praia) e margem lagunar.

O segundo nível, com altitude de 8 a 10 metros, corresponde a um terraço pleistocênico oriundo do penúltimo período glacial ocorrido 120.000 anos A.P.. Neste nível situa-se o centro comercial da cidade.

O terceiro nível, que compreende os sedimentos da Formação Barreiras, possui altitudes que variam de 40 metros na borda das encostas a mais de 100 metros na Cidade Universitária, no bairro Tabuleiro do Martins, sendo a declividade média em torno de 3 m/km no sentido leste (Santos et al. 2004).

A área escolhida para caracterização de um perfil típico da Formação Barreiras de Maceió está localizada no campus da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Nesta região aflora apenas a Formação Barreiras, com sua litologia composta por sedimentos terciários de cor amarelo-avermelhada, constituídos por alternância de areias, argilas e siltes. Esta formação apresenta-se com espessura variando entre 60 e 130 metros (Santos et al. 2004).

4 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DE CAMPO

4.1 Sondagens à percussão com SPT

Foram executados 4 furos de sondagem com SPT, sendo 2 furos no mês de janeiro de 2005 (estação seca) e outros dois em agosto (fim da estação chuvosa).

A Figura 1 apresenta o perfil geotécnico do solo estudado, indicando os valores médios de N_{SPT} obtidos na época seca e no fim da época chuvosa.

Observa-se uma camada de argila arenosa, com silte, até a profundidade de 4,5m, aproximadamente. Nesta camada, o N_{SPT} médio variou entre 4 e 18 golpes. Subjacente a esta, tem-se areia argilosa de 4,5 a 8,5 m de profundidade, com N_{SPT} entre 7 e 22 golpes. De 8,5 até 12 m, encontra-se argila pouco arenosa, com N_{SPT} superior a 30 golpes.

Vale destacar que entre 5 e 6 metros de profundidade, verifica-se a ocorrência abundante de concreções ferruginosas, resultado dos processos de oxidação e lixiviação do ferro.

Analisando os valores do N_{SPT} ao longo da profundidade, nota-se uma leve perda de resistência nos primeiros 4 metros (de 8 para 6 golpes, aprox.) na época chuvosa. Entretanto, o N_{SPT} na superfície do terreno, que tinha valor médio de 18 golpes na época seca, caiu para 4 golpes na época chuvosa.

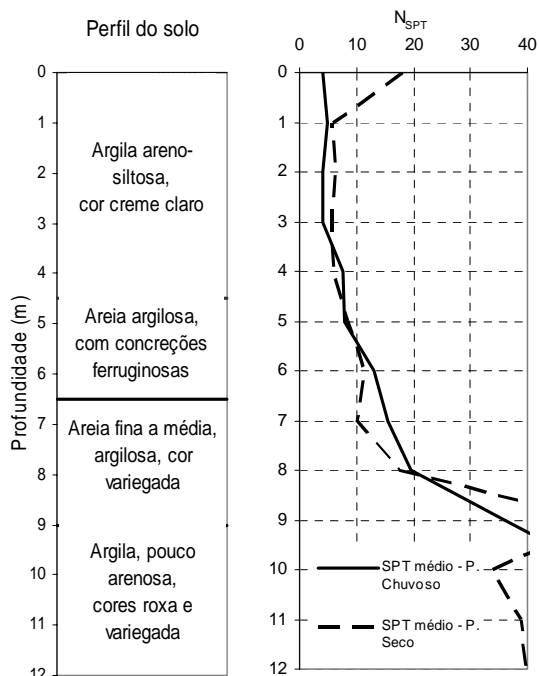


Figura 1. Perfil geotécnico e valores médios do SPT medidos em diferentes épocas do ano.

4.2 Perfis de Umidade

Os perfis de umidade foram determinados em duas épocas distintas do ano: a primeira medição foi realizada no mês de março (época de estiagem); a segunda, no final de agosto (época chuvosa), através de sondagem a trado.

De acordo com a Figura 2, observa-se que, de um modo geral, as umidades variaram na faixa de 9 a 26 %, até a profundidade de 8,50 m. As exceções foram no primeiro metro, em que a umidade do período chuvoso chegou a aumentar até 83% em relação ao período seco, e na profundidade de 7,0 m, que cresceu 52%.

Entretanto são necessárias mais medições de umidade ao longo do ano, por um período de tempo mais abrangente, para se fazer análises mais seguras e conclusivas da variação da umidade com a profundidade.

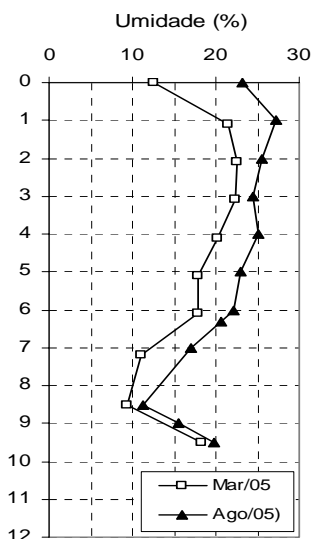


Figura 2. Perfis de umidade do solo.

4.3 Poço de Investigação

O poço de investigação (PI) foi executado no mês de março (estação seca), com seção retangular de 1,60m x 2,10m e 9,50m de profundidade. Sua finalidade foi obter amostras deformadas (coletadas a cada metro) e indeformadas tipo bloco (em profundidades pré-definidas em função das sondagens). Ao todo foram coletados 11 blocos, sendo dois blocos coletados nas profundidades de 1,10, 3,10, 5,10, 7,20 e 8,40m, e apenas um bloco a 9,20m de profundidade.

5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

5.1 Caracterização Física e Mineralógica

As curvas granulométricas foram obtidas utilizando dispersor, com e sem uso de defloculante. Os resultados são apresentados nas Figuras 3 e 4.

A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de caracterização física, assim como a faixa de variação do teor de umidade do solo e do grau de saturação medidos em duas épocas do ano (março e agosto).

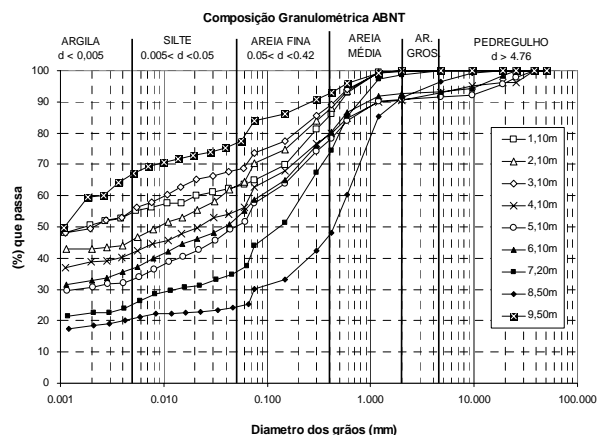


Figura 3. Curvas granulométricas obtidas com defloculante.

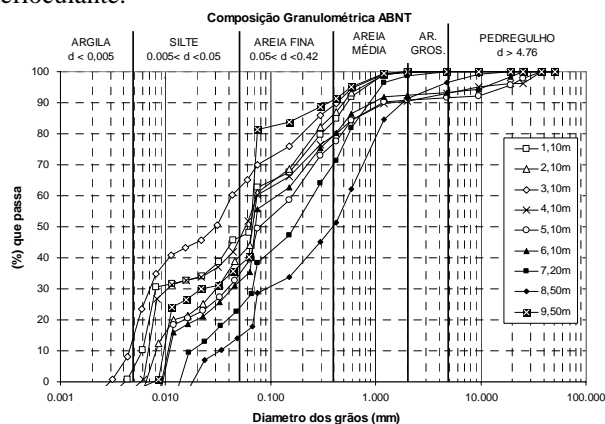


Figura 4. Curvas granulométricas obtidas sem defloculante.

Tabela 1. Resumo dos resultados da caracterização física do perfil estudado.

Índices físicos	Profundidade (m)				
	1,10	3,10	5,10	7,20	8,40
γ_g (kN/m ³)	26,32	26,14	26,14	26,21	26,18
γ_{nat} (kN/m ³)	14,39	15,95	16,17	17,45	18,13
e	1,214	1,000	0,909	0,647	0,605
n	0,55	0,50	0,48	0,39	0,38
LL (%)	48	49	39	34	36
IP (%)	20	19	13	12	12
Ia	0,40	0,39	0,42	0,52	0,67
Δw_{nat} (%)	21,6 – 27,2	22,3 – 24,5	17,8 – 22,9	11,2 – 17,1	9,3 – 11,4
ΔSr (%)	46,8 – 59,0	58,3 – 64,0	51,2 – 65,9	45,4 – 69,3	43,3 – 53,1

As curvas granulométricas determinadas com e sem uso de defloculante apresentaram grande variação dos percentuais de argila e silte. Nos ensaios sem defloculante, praticamente não houve percentual de argila. A explicação para este fato é que as partículas de argila estão

unidas entre si, formando grumos, ou se encontram aderidas nos grãos de areia.

O índice de atividade de Skempton foi inferior a 0,75, sendo o solo classificado como inativo.

Os ensaios mineralógicos da fração fina realizados através de Difractometria de Raio-X mostraram a predominância dos minerais caulinita, illita e quartzo em todo perfil analisado. A ocorrência dos minerais caulinita e illita evidencia o caráter evoluído (intemperizado) deste perfil.

5.2 Ensaios de Sucção Matricial Através da Técnica do Papel Filtro

As curvas características do solo foram determinadas através da técnica do papel filtro. O ensaio consistiu em colocar o papel filtro em contato direto com o solo até atingir o equilíbrio de sucção mátrica entre o papel e o solo. O papel filtro utilizado foi o Whatman n^o. 42, e a sucção mátrica foi obtida através das curvas de calibração propostas por Chandler et al. (1992), apud. Fredlund e Rahardjo (1993).

Os procedimentos preliminares incluíram a determinação dos índices físicos iniciais das amostras (teor de umidade, pesos específicos, grau de saturação, índice de vazios). Após a colocação dos papéis, o conjunto (papel filtro e amostra) era envolvido com papel filme plástico de PVC. O tempo de equalização adotado variou entre 7 e 10 dias. Após alcançado o equilíbrio, os papéis úmidos eram rapidamente pesados em balança eletrônica com precisão de 0,0001g, e colocados em estufa com temperatura de 105 °C. Testes realizados indicaram que 2 horas na estufa eram suficientes para secar os papéis filtro. Os pontos das curvas características foram determinados seguindo a trajetória de secagem

Para o perfil de subsolo estudado, foram determinadas cinco curvas características, como mostra a Figura 5.

As curvas características apresentam um formato de “sela”, que sugere um comportamento intermediário entre areia e argila, dependendo do nível de sucção aplicado. O formato das curvas indica três trechos distintos: inicialmente o solo apresenta um

primeiro ponto de entrada de ar, em torno de 3 kPa, que corresponde ao início da dessaturação da macroestrutura do solo (macroporos); depois observa-se claramente um patamar onde o grau de saturação praticamente não varia e a sucção varia de 10 kPa a 7.000 kPa, aproximadamente; por último, as curvas apresentam um segundo valor de entrada de ar, em torno de 9.000 kPa, devido à perda de água da microestrutura do solo.

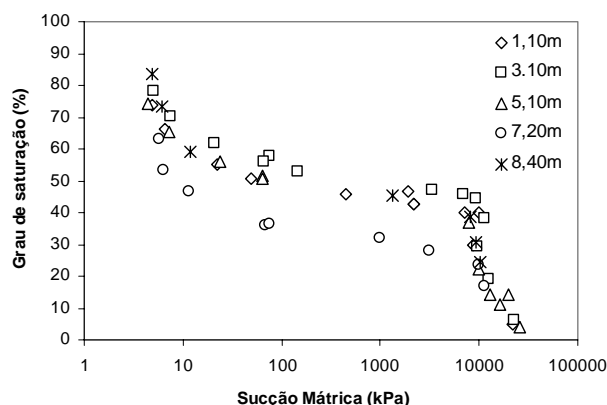


Figura 5. Curvas características do solo estudado.

5.3 Ensaios de Cisalhamento Direto

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados em corpos de prova de seção quadrada, com 10,16 cm de lado e 3,70 cm de altura. Foram ensaiadas amostras nas condições de umidade natural (CDN) e inundada (CDI). Foram aplicadas tensões normais de consolidação de 50, 100, 150 e 200 kPa, sendo que em alguns ensaios também aplicou-se tensões de 25 kPa. Os ensaios executados foram do tipo consolidado drenado (CD).

Na Tabela 2 são mostrados as condições dos corpos de prova e os parâmetros de resistência obtidos dos ensaios CDN e CDI. As Figuras 6 e 7 apresentam as envoltórias de resistência de dois ensaios realizados.

Analisando as envoltórias de resistência de Mohr-Coulomb dos ensaios CDN e CDI, observou-se que em todos os ensaios inundados o solo perdeu a coesão aparente que apresentou nos ensaios na umidade natural. Por outro lado, o ângulo de atrito praticamente não variou, com exceção da amostra de 8,40m, em que o ângulo de atrito interno diminuiu 23%.

Tabela 2. Condições iniciais e finais dos corpos de prova dos ensaios CDN e CDI e parâmetros de resistência.

ENSAIO UMIDADE NATURAL (CDN)					
Prof. (m)	w _o (%)	w _f (%)	S _{r_f} (%)	C (kPa)	φ (°)
1,10	20,1	19,1	42,7	9,76	31,2
3,10	21,9	21,8	57,2	15,75	27,2
5,10	16,5	16,0	47,8	17,18	31,6
7,20	10,1	9,7	39,3	7,25	32,7
8,40	11,9	11,7	49,9	21,65	36,1
ENSAIO INUNDADO (CDI)					
Prof. (m)	w _o (%)	w _f (%)	S _{r_f} (%)	C (kPa)	φ (°)
1,10	19,7	33,1	71,8	0	31,9
3,10	20,4	34,8	91,0	0	30,0
5,10	14,9	30,4	87,4	0	31,8
7,20	15,5	23,0	93,2	0	34,9
8,40	10,2	20,0	86,9	1,64	27,9

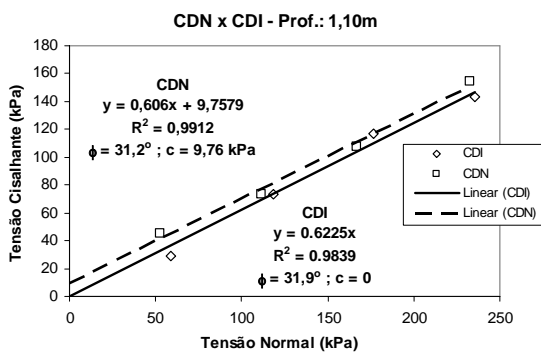


Figura 6. Envolórias de resistência da amostra de 1,10m.

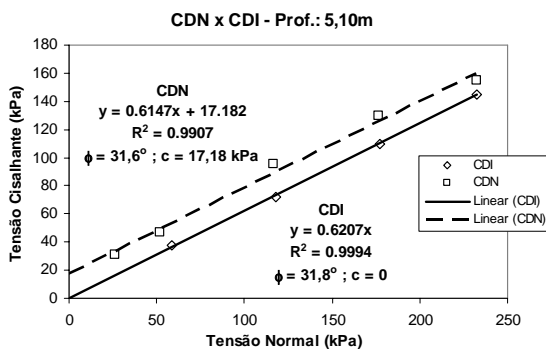


Figura 7. Envolórias de resistência da amostra de 5,10m.

Com relação ao comportamento tensão-deformação observado nos ensaios CDN, nota-se que para os níveis de tensão normal até 50 kPa, aparecem nas curvas resistências de pico, acompanhadas de dilatação (aumento de volume da amostra). Enquanto que nos ensaios inundados (CDI), as curvas tensão-deformação

para todos os níveis de tensões aplicadas não apresentaram este comportamento.

Este comportamento é característico de solos estruturados (com cimentação), fato este que confere ao solo um comportamento de “falso” sobre-adensamento (similar ao observado em solos pré-adensados). Tal comportamento também é influenciado pela sucção do solo.

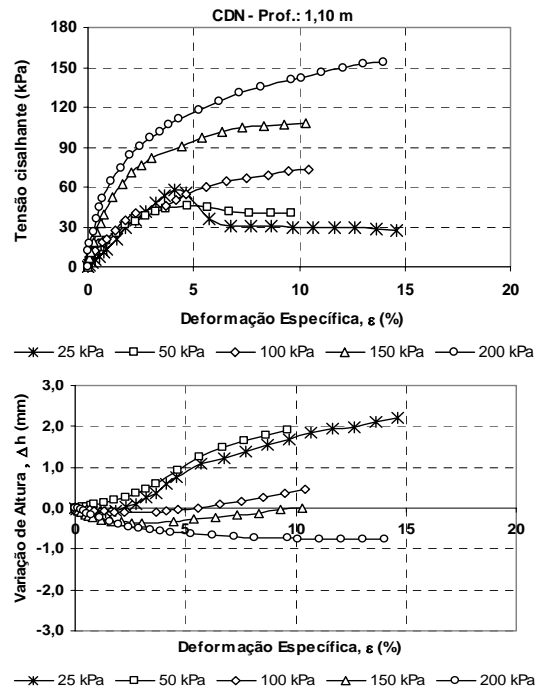


Figura 8. Comportamento tensão-deformação-variação de volume da amostra de 1,10m do ensaio CDN.

5.4 Ensaios Edométricos Duplos

Os ensaios edométricos foram realizados com o solo na umidade natural (EDN) e com inundaçãõ prévia (EDI), sendo que neste último o corpo de prova (CP) era inundado sob pequena tensão confinante de 0,8 kPa. Os corpos de prova tinham 8,75 cm de diâmetro e 2,00 cm de altura.

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros de compressibilidade das diferentes camadas obtidos dos ensaios EDN e EDI. As curvas de adensamento são apresentadas nas Figuras 9 e 10.

Os baixos valores dos índices de recompressão (0,02 e 0,03) são típicos de solos evoluídos (intemperizados), que não apresentam recuperação das deformações sofridas, e corresponde a mudanças nas suas características estruturais.

Tabela 3. Parâmetros de compressibilidade obtidos dos

ensaios edométricos duplos.

Prof (m)	EDN			EDI			
	σ_{vm} (kPa)	Cc	Cr	σ_{vm} (kPa)	Cc	Cr	OCR
1,10	500	0,53	0,03	75	0,44	0,03	4,12
3,10	500	0,43	0,02	90	0,39	0,02	1,85
5,10	N/D	N/D	0,02	160	0,33	0,02	1,97
7,20	N/D	N/D	0,02	200	0,24	0,02	1,70
8,40	N/D	N/D	0,02	N/D	N/D	N/D	N/D

Obs.: N/D = não determinado.

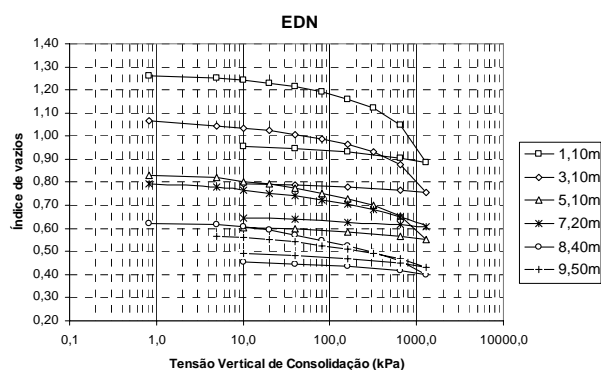


Figura 9. Curvas de adensamento com amostras na umidade natural.

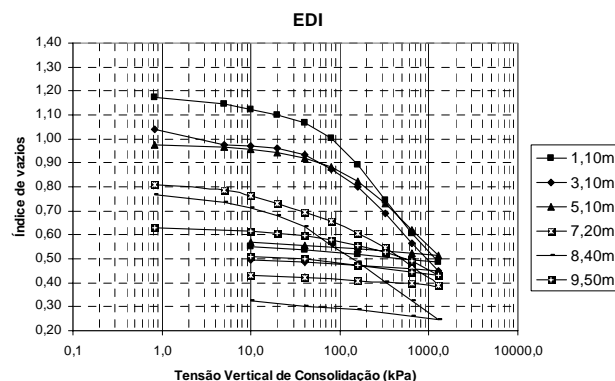


Figura 10. Curvas de adensamento com amostras pré-inundadas.

A análise comparativa das pressões de pré-adensamento dos ensaios EDI e EDN, evidencia claramente a maior rigidez dos solos não saturados, mostrando a influência da inundação no aumento das deformações apresentadas pelas amostras inundadas. Isto ocorre devido à perda da sucção devido à saturação.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou os resultados de uma campanha de investigação de campo e laboratório num perfil de solo não saturado da Formação Barreiras da cidade de Maceió. Com

base nestes resultados, pode-se concluir que:

- É comum a ocorrência de camadas ricas em óxidos de ferro sob forma de lateritas (concreções ferruginosas), em profundidade, devido a processos de oxidação e lixiviação do ferro.
- As curvas características apresentaram comportamento bimodal, com dois pontos de entrada de ar: o primeiro, devido à dessaturação dos macroporos e o segundo, referente aos microporos.
- Analisando as envoltórias de resistência dos ensaios CDN e CDI, observou-se que nos ensaios inundados o solo perdeu a coesão aparente que apresentou nos ensaios CDN, enquanto que o ângulo de atrito pouco variou.
- Os parâmetros de compressibilidade dos ensaios EDI e EDN, evidencia claramente a maior rigidez dos solos não saturados, mostrando a influência da inundação no aumento das deformações das amostras.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro dado pela CAPES através da bolsa de estudo e ao projeto PRONEX/CNPq/FACEPE. À empresa AGM Geotécnica pelo apoio dado aos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- Camapum de Carvalho, J. e Leroueil, S. (2004). Curva Característica de Sucção Transformada, *Revista Solos e Rochas*, ABMS, Vol. 27, no. 3, p. 231-242.
- Coutinho, R. Q. e Silva, M. M. da (2006). Classificação e Mecanismo de Movimentos de Massa, *IV COBRAE*, Salvador, BA, Brasil, Conferência Pós-Congresso (no prelo).
- Ferreira, J. V., Santos, R. J. Q., Lima, R. C. A. (2004). Os Recursos Hídricos da Área dos Tabuleiros dos Martins – Maceió/AL, *Geografia – Espaço, Tempo e Planejamento*, Edufal, Maceió, AL, p. 231-254.
- Fredlund, D. G. e Rahardjo, H. (1993). *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. Jonh-Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 517p.
- Santos, R. J. Q., Lima, R. C. A., Ferreira Neto, J. V. (2004). A Geomorfologia do Tabuleiro Como Conseqüência do Neotectonismo, *Geografia – Espaço, Tempo e Planejamento*, Edufal, Maceió, AL, p. 255-268.