

# Contribuição ao Estudo de alguns Massapês do Recôncavo Baiano

Paulo Cesar Burgos

Professor, UCSAL, UNEB, Pesquisador-Técnico, UFBA, Salvador, Brasil, paulo.burgos@pro.ucsal.br

Armando José da Silva

Técnico de Laboratório, UFBA, Salvador, Brasil, armandojsilva@gmail.com

**RESUMO:** Regionalmente, os solos reconhecidamente expansivos do Recôncavo Baiano são denominados de massapês e esses ocupam uma área da ordem de 20% do total da área da Bacia Sedimentar desse recôncavo, constituindo-se na mais expressiva região de solos expansivos do Brasil. Com o objetivo de melhor conhecer algumas propriedades e comportamentos desses solos, foi realizada uma campanha de ensaios de laboratório contemplando granulometria conjunta, limites de consistência, peso específico das partículas sólidas, adsorção de azul de metileno, potencial hidrogeniônico, cisalhamento direto, expansão livre, tensão de expansão e sucção matricial. Os resultados obtidos revelaram alguns parâmetros característicos desses solos e o seu caráter expansivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solos Expansivos, Massapês, Vertissolos, Ensaios de Laboratório.

**ABSTRACT:** Regionally, the recognized expansive soils of the Recôncavo Baiano are called massapês and they occupy an area of the order of 20% of the total area of the Sedimentary Basin of this recôncavo, constituting the most expressive region of expansive soils in Brazil. With the aim of better understanding some properties and behaviors of these soils, a campaign of laboratory tests was carried out covering joint granulometry, consistency limits, specific weight of solid particles, adsorption of methylene blue, hydrogen potential, direct shear, free expansion, matrix expansion and suction tension. The results obtained revealed some characteristic parameters of these soils and their expansive nature.

**KEYWORDS:** Expansive Soils, Massapês, Vertisols, Laboratory Tests.

## 1 INTRODUÇÃO

Regionalmente, os solos reconhecidamente expansivos do Recôncavo Baiano são denominados de massapês e esses ocupam uma área da ordem de 20% do total da área da Bacia Sedimentar desse recôncavo, constituindo-se na mais expressiva região de solos expansivos do Brasil. Em termos pedológicos esses solos são classificados como vertissolos, que se manifestam com sequência de horizonte do tipo A-C, sem diferença significativa no teor de argila entre a parte superficial e subsuperficial. Caracterizam-se pela presença predominante de argilominerais de atividade muito alta.

Justino da Silva (2005) comenta que os problemas provenientes do comportamento de solos expansivos não foram reconhecidos até 1930. Antes desta data os danos produzidos por esses solos eram atribuídos a erros de construção ou a recalques diferenciais ocorridos entre o centro e as bordas das estruturas. A partir dessa data se procurou compreender e interpretar corretamente os princípios que regem o comportamento das argilas expansivas.

Fredlund et al. (1995) comentam que na China as perdas de ordens econômicas devidas as ações de solos expansivos têm sido estimadas em cerca de quinze bilhões de dólares por ano, afetando aproximadamente trezentos milhões de pessoas.

De acordo com Simões e Costa Filho (1981) os solos expansivos da região do Recôncavo Baiano são provenientes da intemperização das rochas que compõem os Grupos Ilhas e Santo Amaro e Formação São Sebastião. Esses autores ainda comentam que as rochas sedimentares que originam os massapês são geralmente de natureza básica, ricas em carbonato de cálcio e magnésio.

As contribuições iniciais referentes ao estudo dos massapês do Recôncavo Baiano estão relacionadas com as obras para implantação da BR 324 que faz a ligação entre a capital baiana e a cidade de Feira de

Santana, com destaque aos trabalhos de Sobral (1956), Arimathea (1960) e Sobral e Menezes (1962). Após esses estudos pioneiros outros pesquisadores continuam desenvolvendo estudos com esses solos, visando a identificação de propriedades geotécnicas e de comportamento.

Cabe destacar que esse trabalho está inserido em uma pesquisa mais ampla, estando em andamento diversos outros ensaios laboratoriais.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais**

Os solos estudados neste trabalho são provenientes do município de Candeias, que integra a Região Metropolitana de Salvador, estando a sede desse município distante da capital baiana da ordem de 46 quilômetros. A cidade de Candeias, localiza-se a uma latitude de 12°40'04" sul e a uma longitude 38°33'02" oeste, estando a uma altitude média de 97 metros acima do nível do mar. Em termos geológicos, no município de Candeias ocorrem a Formação São Sebastião e o Grupo Ilhas. As três amostras dos tipos deformadas e indeformadas (blocos com arestas de 30 centímetros) foram obtidas a partir da escavação de três poços, sendo todas coletadas a um metro de profundidade em relação ao nível do terreno.

### **2.2 Caracterização Geotécnica**

A caracterização geotécnica dos três solos estudados compreendeu a realização de um elenco de ensaios laboratoriais, dentre esses os ensaios de caracterização convencional e de caracterização alternativa, indicados a seguir.

#### *2.2.1 Caracterização Convencional e Alternativa*

Visando a caracterização convencional dos solos, foram realizados ensaios de granulometria conjunta, peso específico das partículas sólidas, limite de liquidez e limite de plasticidade, conforme as normas técnicas da ABNT. Para a caracterização alternativa dos solos, foi empregada a técnica do ensaio de adsorção de azul de metileno, seguindo as orientações do procedimento de Fabbri (1994), que utiliza a fração de solo passante na #200 (abertura de 0,075 mm), tendo a solução padrão de azul de metileno a concentração de um grama por litro de água destilada. Esse procedimento possibilita determinar parâmetros acerca da atividade da fração fina dos solos.

O corante denominado azul de metileno possui a nomenclatura cloridrato de metiltiamina, de composição química  $C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$ . Caracteriza-se como um corante catiônico, ou seja, em solução aquosa apresenta-se dissociado em ânions cloreto e cátions azul de metileno. Adicionalmente foi determinado o potencial hidrogeniônico desses solos em água, conforme o procedimento descrito por Camargo et al. (1989).

### **2.3 Permeabilidade**

O estudo da permeabilidade do tipo carga variável dos solos, para a condição de corpos de prova obtidos de amostras indeformadas obedeceu aos procedimentos constantes na NBR 14545:2000 (ABNT, 2000).

### **2.4 Compressibilidade**

O estudo da compressibilidade ocorreu apenas para a amostra de solo identificada como solo 2, sendo o ensaio realizado em corpo de prova no teor de umidade natural obtido a partir de amostra do tipo indeformada, seguido-se as recomendações da NBR 16853:2000 (ABNT, 2000).

Como esse trabalho está inserido em uma pesquisa mais abrangente, essa contempla, também, a condução do estudo da compressibilidade em corpos de prova submetidos ao processo de inundação prévia,

não sendo possível apresentar os resultados, por esses se encontrarem em andamento.

## 2.5 Resistência ao Cisalhamento

O estudo da resistência ao cisalhamento do solo ocorreu apenas para a amostra identificadas como solo 2, sendo os corpos de prova obtidos a partir da amostra indeformada. Estando em andamento os ensaios para o solo 3. Com a finalidade de estudar os parâmetros de resistência ao cisalhamento desse solo associado ao tempo de ruptura, por se tratar de solo dotado de permeabilidade muito baixa, foram conduzidos ensaios de cisalhamento direto convencional, em corpos de prova previamente inundados e submetidos as tensões normais iniciais de 25, 70 e 150 kPa. Os ensaios foram realizados com valores de velocidades de rupturas distintas, a saber, 1,0000 mm/min, 0,0300 mm/min e 0,0060 mm/min, indicando os respectivos tempos de ruptura da ordem de 5 minutos, 170 minutos e 850 minutos que são correspondentes a um deslocamento horizontal de 10 % do lado da amostra de seção transversal quadrada. Os ensaios foram realizados de acordo com as orientações da norma da ASTM D3080/D3080M.

## 2.6 Expansão Livre e Tensão de Expansão

O estudo da expansão livre e da tensão de expansão ocorreu apenas para o solo 2, sendo os corpos de prova obtidos a partir de amostra indeformada, conforme já reportado, outros ensaios se encontram em andamento. Os ensaios de expansão livre foram realizados em células edométricas convencionais, fazendo uso de sistema automatizado que permite a medição da variação de altura do corpo de prova, após o processo de inundação. Os ensaios de tensão de expansão, também foram realizados em células edométricas convencionais, utilizando-se de um sistema automatizado que possibilita a determinação da carga necessária para manter o volume do corpo de prova constante, após o processo de inundação.

## 2.7 Sucção Matricial

O estudo da sucção matricial ocorreu apenas para o solo 2, sendo o corpo de prova obtido de amostra indeformada, estando em andamento, também, outros ensaios. Para essa finalidade foi empregado o método do papel filtro que consiste em um instrumento de medida indireta da sucção matricial e/ou total.

Esse procedimento se fundamenta no princípio de que um solo que se manifeste com um dado teor de umidade  $e$ , quando posto em contato com o papel filtro que possua umidade inferior, o papel absorverá um volume de água do solo, até que o sistema encontre equilíbrio. O papel filtro utilizado nos ensaios foi do tipo quantitativo Whatman No. 42. A determinação da sucção matricial ocorreu pela aplicação das equações sugeridas por Chandler *et al.* (1992).

## 3 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste tópico são apresentados os principais resultados obtidos dos ensaios realizados e suas respectivas análises, seguindo-se a mesma sequência que foi adotada no tópico anterior, excetuando-se os índices físicos iniciais médios e representativos que foram determinados a partir da moldagem dos corpos de prova das amostras indeformadas para os ensaios de permeabilidade, compressibilidade, resistência ao cisalhamento, expansão livre, tensão de expansão e sucção matricial que são mostrados na Tabela 1, abrangendo peso específico aparente natural, peso específico aparente seco, teor de umidade natural, índice de vazios, porosidade e grau de saturação, referentes à época da amostragem.

Tabela 1. Resumo dos índices físicos.

Solo	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	w (%)	e	n (%)	$S_r$ (%)
1	17,1	11,7	46,16	1,32	56,90	94,77
2	17,0	11,7	45,60	1,33	57,08	93,26
3	16,9	11,7	43,98	1,29	56,33	91,37

Nota-se que esses materiais se revelam com propriedades índices equivalentes, chamando atenção o elevado grau de saturação.

### 3.1 Caracterização Geotécnica

#### 3.1.1 Caracterização Convencional e Alternativa

A Tabela 2 resume a granulometria dos solos de acordo com a escala granulométrica adotada pela ABNT, peso específico das partículas sólidas, limite de liquidez e limite de plasticidade.

Tabela 2. Resumo da granulometria, peso específico das partículas sólidas, limites de liquidez e plasticidade.

Solo	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)
1	0	5	21	74	27,1	71	43
2	0	2	14	84	27,2	87	43
3	0	4	17	79	26,8	85	48

Verifica-se, como era de se esperar a predominância de granulometria muito fina e os elevados teores da fração argila, acompanhada dos percentuais relativamente baixos da fração silte e vestígios de areia. A Figura 1 reúne as curvas de distribuição granulométrica dos solos estudados, podendo-se observar a similaridade existente entre suas morfologias. Enquanto a Figura 2 mostra a carta de plasticidade com o posicionamento dos solos, nota-se que esses se posicionaram abaixo da linha A, região essa característica dos solos predominantemente siltosos de acordo com o sistema de classificação geotécnica USCS. Contudo esses solos são altamente argilosos, revelando teores de argila entre 74 % e 84 % e elevadíssimas percentagens passantes na peneira 200 (abertura de 0,075 mm) entre 96 % e 99 %.

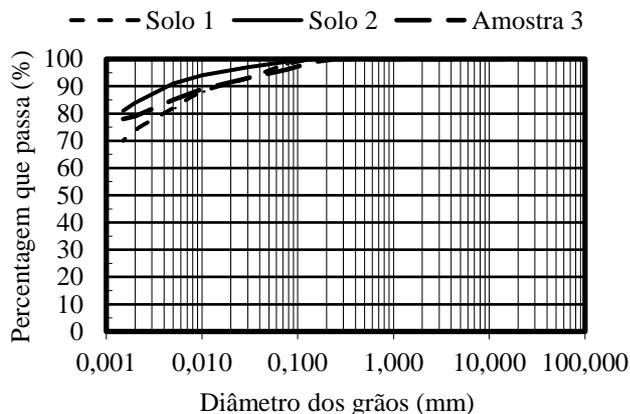


Figura 1. Curvas granulométricas.

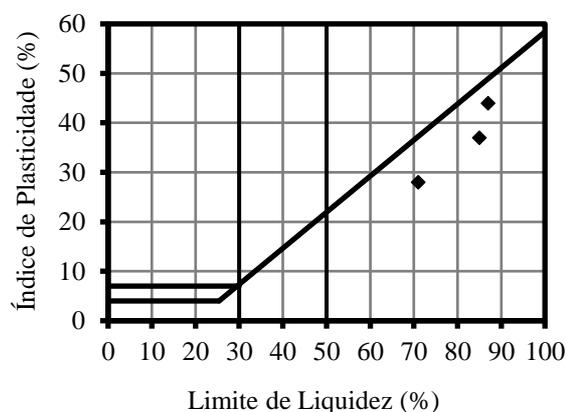


Figura 2. Carta de plasticidade.

Os valores encontrados para os limites de liquidez e plasticidade denotam as propriedades consideráveis da fração argila. Quanto ao índice de atividade mineralógica (A), proposto por Skempton (1953) que é fundamentado nos resultados dos ensaios laboratoriais de limites de consistência e de granulometria, sendo esse índice definido como a relação entre o índice de plasticidade e a percentagem de argila ( $< 0,002$  mm), indicaram que esses solos foram classificados como inativos ( $A < 0,75$ ), logo, revelando por esse critério resultados incoerentes, pois trata-se de solos reconhecidamente expansivos. De acordo com a literatura técnica que correlaciona o valor numérico do índice de atividade mineralógica com o tipo de argilomineral, nota-se que os solos 1 e 3 apresentaram valores típicos de caulinita que está compreendido no intervalo entre 0,3 e 0,5. O solo 2 exibiu valor característico de illita, que está situado no intervalo de 0,5 a 1,5, observando-se que o valor obtido de 0,52 situa-se próximo do limite de transição entre os grupos mineralógicos da caulinita e da illita.

A estimativa preliminar de identificação do potencial de expansão dos solos obedeceu aos critérios denominados no meio técnico por métodos indiretos, que são considerados como de caráter orientativo. Foi adotado neste trabalho os critérios de Seed et al. (1962), Van der Merwe (1964), Chen (1965) e Dakshanamurthy e Raman (1973) que utilizam para essa identificação o teor de argila, o limite de liquidez e o índice de plasticidade que são parâmetros resultantes de ensaios laboratoriais comumente realizados nos estudos geotécnicos. Um resumo correspondente à classificação do grau de expansão para o universo dos solos estudados é apresentado na Tabela 3, conforme as proposições indiretas supracitadas.

Tabela 3. Resumo da classificação do grau de expansão.

Solo	Seed et al. (1962)	Van der Merwe (1964)	Chen (1965)	Dakshanamurthy e Raman (1973)
1	Alto	Baixo/Alto	Muito alto	Muito alto
2	Muito alto	Muito alto	Muito alto	Muito alto
3	Muito alto	Muito alto	Muito alto	Muito alto

Pode-se observar que todos os critérios indiretos empregados indicaram o caráter expansivo desses materiais, havendo significativa concordância do grau de expansão entre esses, de muito alto. Com base nos valores de limite de liquidez e de peso específico aparente seco de campo, utilizou-se o critério empírico de Holtz e Kovacs (1981), visando a estimativa preliminar do comportamento de colapso ou de expansão para esses solos. A Figura 3 ilustra essa carta com o posicionamento dos solos, observando-se que todos os materiais se posicionaram na região de materiais expansivos.

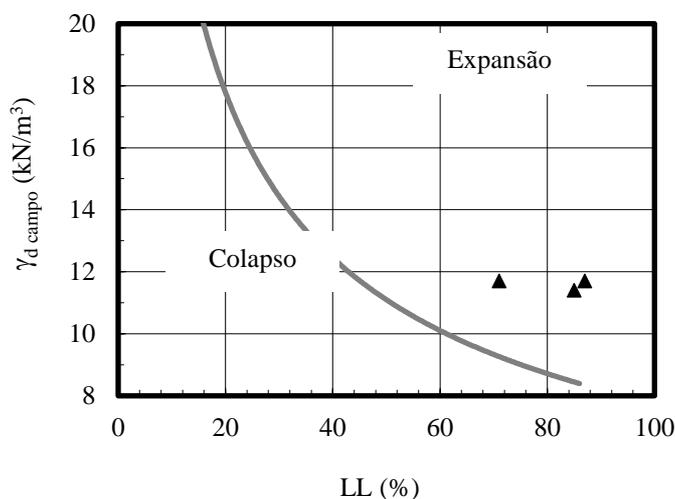


Figura 3. Resultados dos solos investigados na Carta de Holtz e Kovacs (1981).

Encontra-se na Tabela 4 um resumo dos resultados da caracterização alternativa, pela aplicação da técnica química de adsorção de azul de metileno, muito difundida na França, mas ainda pouco utilizada em nosso meio técnico, constando o valor de azul ( $V_a$ ), o coeficiente de atividade ( $CA$ ) e a capacidade de troca de cátions ( $CTC$ ), adicionalmente, o potencial hidrogeniônico em água. De acordo com Fabbri (1994), quando o valor de  $CA$  se manifesta superior a 80 o solo é considerado com grau de atividade muito ativo, compreendendo à predominância dos argilominerais dos grupos das montmorilonitas e vermiculitas, notando-se que esse parâmetro se manifestou com valores na faixa numérica de 178 a 194. Os valores de capacidade de troca de cátions encontrados são típicos da montmorilonita. No critério pedológico a argila é considerada de atividade alta quando a  $CTC$  é igual ou maior a 17 cmol/kg.

Tabela 4. Resumo do ensaio de adsorção de azul de metileno.

Solo	Va ( $10^{-3}$ g/g)	CA ( $10^{-3}$ g/g/%)	CTC (cmol/kg)	pH (H <sub>2</sub> O)
1	159,2	194,1	68,5	6,5
2	166,4	182,8	61,2	5,9
3	151,6	178,3	62,4	5,6

### 3.2 Permeabilidade

A Tabela 5 apresenta os valores dos coeficientes de permeabilidade, carga variável para os solos estudados.

Tabela 5. Coeficientes de permeabilidade.

Solo	$k_{20}$ (cm/s)
1	$7,73 \times 10^{-8}$
2	$3,52 \times 10^{-8}$
3	$2,74 \times 10^{-7}$

Nota-se que os valores obtidos estão coerentes com a textura do solo, predominantemente argilosa.

### 3.3 Compressibilidade

Apresentam-se na Tabela 6 os valores do índice de compressão ( $C_c$ ), índice de recompressão ( $C_r$ ) e tensão de pré-adensamento ( $\sigma'_{vm}$ ) resultante do ensaio conduzido com o solo 2, na condição de teor de umidade natural sem o procedimento de inundação.

Tabela 6. Parâmetros de compressibilidade.

Solo	w(%)	$S_r$ (%)	$C_c$	$C_r$	$\sigma'_{vm}$ (kPa)
2	45,60	93,26	0,346	0,037	330

Constata-se que o índice de recompressão está na faixa comumente comentada na literatura em termos percentuais em relação ao índice de compressão.

### 3.4 Resistência ao Cisalhamento

Encontram-se na Tabela 7 os parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos para as diferentes velocidades de ruptura empregadas.

Tabela 7. Resumo dos parâmetros de resistência ao cisalhamento.

Solo	Ensaio	Tempo de ruptura (min)	Intercepto da coesão (kPa)	Ângulo de atrito interno ( $^{\circ}$ )
2	Rápido CRI	5	30,2	21,6
2	Lento CLI int	170	12,0	16,4
2	Lento CLI	850	15,5	24,6

Com base nesses resultados, percebe-se uma diminuição do intercepto da coesão com a redução da velocidade de ruptura, contudo, o ensaio com velocidade intermediária exibiu coesão ligeiramente inferior àquela do ensaio mais lento. Quanto ao ângulo de atrito interno, nota-se que com a redução da velocidade de ruptura ocorreu um aumento desse parâmetro de três graus, referente a menor velocidade, enquanto para a velocidade intermediária, houve redução dessa propriedade, da ordem de cinco graus.

A Figura 4 ilustra as envoltórias de resistência ao cisalhamento para os valores de pico.

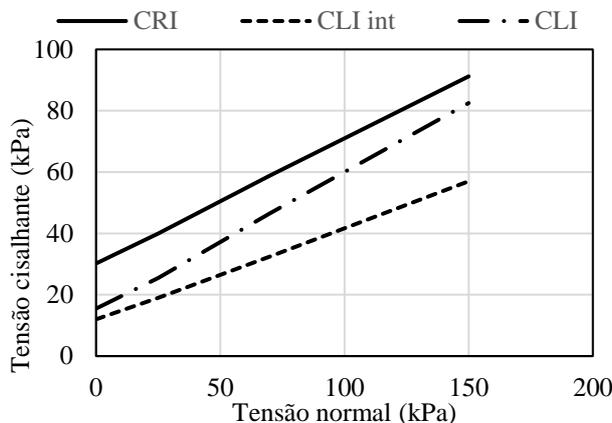


Figura 4. Envoltórias de resistência.

### 3.5 Expansão Livre e Tensão de Expansão

Apresenta-se na Tabela 8 um resumo dos ensaios de expansão livre e tensão de expansão para o solo 2, observando-se as condições iniciais dos corpo de prova em termos do teor de umidade e grau de saturação iniciais.

Tabela 8. Parâmetros de expansão livre e tensão de expansão.

Solo	w (%)	S <sub>r</sub> (%)	E. Livre (%)	T. Exp. (kPa)
2	45,60	93,26	5,1	22,6
2	27,57	57,28	39,1	1793,5

Constata-se a significativa influência do teor de umidade inicial no potencial de expansão do solo, necessitando-se de um monitoramento dessa propriedade ao longo de um período visando quantificar essa faixa de variação.

### 3.6 Sucção Matricial

A Tabela 9 apresenta para o solo 2 os valores do teor de umidade e grau de saturação inicial, acompanhado do valor obtido para a sucção matricial resultante da medida na base e medida no topo do corpo de prova.

Tabela 9. Sucção matricial.

Solo	w (%)	S <sub>r</sub> (%)	Sucção matricial (kPa)	
2	45,60	93,26	6,2	5,8

Diante do elevado grau de saturação, a sucção matricial exibiu valor baixo.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios de granulometria e de limites de consistência confirmaram o caráter fino e plástico desses solos. O critério de atividade de Skempton (1953) não foi eficiente, pois solos reconhecidamente ativos como os massapês foram classificados como inativos. Os outros critérios indiretos empregados para uma avaliação preliminar do potencial de expansão dos solos se revelaram coerentes, pois todos esses indicaram solo potencialmente expansivo, com predominância de grau muito elevado. A técnica de adsorção de azul de metileno se revelou coerente, pois esses materiais apresentaram parâmetros associados aos argilominerais dos grupos da montmorilonita e da vermiculita. O critério empírico de Holtz e Kovacs (1981), também, se revelou eficiente para identificação preliminar do potencial de expansão.

Os ensaios de permeabilidade confirmaram a baixa condutividade hidráulica desses solos. Em relação à compressibilidade, destaca-se que foi apresentado apenas o resultado de um único ensaio conduzido no teor de umidade natural, indicando para essa condição uma tensão de pré-adensamento de 330 kPa. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos para condições distintas de velocidade de ruptura apresentaram variações, provavelmente pela condição de drenagem imposta nos experimentos, necessitando ainda de outros estudos. Em termos de expansão livre e tensão de expansão verificou-se a grande diferença entre esses parâmetros, sugerindo a influência significativa do teor de umidade inicial. Quanto a sucção matricial, foi apresentado apenas um único resultado, revelando um valor baixo dessa propriedade que está associada ao elevado grau de saturação inicial da amostra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2000). Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. NBR 14545, Rio de Janeiro, 16 p.
- ABNT (2000). Solo – Ensaio de adensamento unidimensional. NBR 16853, Rio de Janeiro, 22 p.
- Arimathea, J. (1960). Rodovia Federal BR28, trecho Salvador - Feira de Santana, Revista Rodovia, Fevereiro.
- Camargo, O. A.; Moniz, A. C.; Jorge, A. J. Valadares, J. M. S. (1989). Métodos de Análise Químicas, Mineralógicas e Física dos Solos. Instituto Agrônomo de Campinas – Boletim Técnico 106, 94 p.
- Chandler, R.J.; Crilley, M.S. e Montgomery-Smith, G. (1992). A low-cost method of assessing clay desiccation for low-rise buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineering*, 92: p. 89-89.
- Chen, F. H. (1965). The use of piers to prevent the uplift of the lightly loaded structures founded on expansive clays, 1st 3<sup>rd</sup> International Conference on Expansive Soils, Texas, p. 152-171.
- Daksanamurthy, V. e Raman, V. (1973). A simple method of identifying an expansive soils, *Soils and Foundation*, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 13(1): p. 97-104.
- Fabbi, G.T.P. (1994). *Caracterização da Fração Fina dos Solos Tropicais através do Ensaio de Azul de Metileno*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 176 p.
- Fredlund, D.G.; Vanapalli, S.K.; Xing, A. e Pufahl, D.E. (1995). *Predicting the shear strength function for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve*, 1<sup>st</sup> Inter. Conf. on Unsaturated Soils, Paris, Vol.1, p. 77-87.
- Holtz, R. D. e Kovacs, W. D. (1981). An introduction to geotechnical engineering, *Prentice-Hall*, New Jersey, 733 p.
- Justino da Silva, J.M. (2005). *Geotecnia no Nordeste*, UFPE, Recife, Brasil, 543 p.
- Seed, H. B. Woodward, R. J. and Lundgran, R. (1962). Prediction of swelling potential of compacted clays, *Proceedings ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, 88(SM3): p. 53-87.
- Simões, P.R.M. e Costa Filho, L. M. (1981). Características Mineralógicas, Químicas e Geotécnicas de Solos Expansivos do Recôncavo Baiano. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais para Engenharia, PUC-RJ, Rio de Janeiro, p. 569-588.
- Sobral, H.S. (1956). *Contribuição ao estudo do massapê como solo para construção*. Tese de Concurso para Cadeira de Materiais de Construção. Escola de Belas Artes. UFBA.
- Sobral, H.S. e Menezes, M.S. (1962). Influência da umidade no comportamento dos massapês. Publicação do IPTUB.
- Skempton, A. W. (1953). The colloidal activity of clays, *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Zurich, p. 57-61.
- Van der Merwe, D. H. (1964). Prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils, *Civil Engineer in Africa South*, 6: p.103-107.