

Estudos da Estabilização de um Solo Expansivo de Ipojuca-PE Utilizado em Aterros Compactados

Stive Osca Falcão de Ataíde

UFPE, COMPESA, Recife/PE, Brasil, stivefalcão@yahoo.com.br

Silvio Romero de Melo Ferreira

UFPE, UPE e UNICAP - Recife/PE, Brasil, sr.mf@hotmail.com

RESUMO: O município de Ipojuca em Pernambuco vem recebendo grandes indústrias e para as edificações grandes plataformas de aterros compactados estão em execução. A presença de solo expansivo ocorre em grandes quantidades sendo quase inapropriado seu descarte. Foram coletadas amostras deformadas para caracterização física pelas normas da ABNT e ensaios edométricos avaliando a tensão de expansão e expansão livre, em solo natural e com misturas de 20% e 30% de areia em volume e comparar com o solo tratado com cal. A mistura propõe estabilização mecânica do solo expansivo, no entanto, o que ocorre é que como a areia é um solo inerte junto ao solo expansivo apenas se reduz a concentração de argilominerais expansivos, desta forma reduzindo suas expansões.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Expansivo, Grandes Aterros, Estabilização.

1 INTRODUÇÃO

Alguns solos não saturados, ao se aumentar o teor de água em seus vazios ou ao serem solicitados por carga e posteriormente umedecidos, experimentam uma variação de volume. Estes solos têm seu comportamento relacionado à instabilidade volumétrica, quando a umidade é alterada. Os solos expansivos contraem quando perdem unidade e aumentam de volume quando a umidade cresce.

É importante diferenciar algumas terminologias e definições associadas à expansividade do solo. A expansividade intrínseca é considerada como a capacidade do argilomineral de absorver água. É uma propriedade resultante de sua composição mineralógica e da quantidade de argila, que interagem com a água. Expansão de um solo expansivo intrinsecamente pode ser definida como a mudança de volume resultante da mudança de umidade ou sucção. Para um solo ter caráter expansivo, primariamente depende do argilomineral existente, uma vez que nem todos os minerais argilosos experimentam

modificações volumétricas. Esta instabilidade pode ser especialmente importante nas argilas esmectitas, em especial, a montmorilonita e a vermiculita. Também se produz nos interestratificados de montmorilonita com clorita, illita e vermiculita. Dois requisitos básicos são necessários para um solo exibir expansividade: i) Intrínsecos – deve existir e entrar em funcionamento mecanismos, em nível microescalar, que produzam a instabilidade volumétrica do solo (composição mineralógica, textura e estrutura); ii) Extrínsecos – deve estar presentes, forças capazes de transferir a umidade de um ponto a outro do solo (climatologia, hidrogeologia, vegetação, ocupação antrópica).

Os argilominerais são formados pela união de camadas tetraédricas e octaédricas dispostos em camadas alternadas. As espécies mais comuns são: Illita, Caulinita e Montmorilomita. Caulinita: constituinte de rochas sedimentares detríticas e das argilas dos solos. Originária dos aluminossilicatos é refratária e não expansiva. Montmorilomita: constituinte das rochas sedimentares detríticas e das argilas dos

solos originária da alteração dos aluminossilicatos e minerais ferromagnesianos. Em meio aquoso expande-se por efeito da adsorção das moléculas de água entre as cadeias tetraédrica. Ilita, também chamada de hidromica é do grupo de argilominerais com composição e estrutura intermediária entre a muscovita e montmorilomita são comuns em folhetos de origem marinha.

A construção de obras de engenharia civil em solos que apresentam instabilidade volumétrica, quando umedecidos, pode causar sérios problemas. Em solos expansivos, em campo, observam-se fissuras ou fendas características, nas estações secas. Já nas edificações, fissuras diagonais embaixo das janelas e acima das portas ondulações e rupturas nos pavimentos, fissuras generalizadas longitudinais e transversais junto a bueiros, etc.

Segundo a New York State Division of Homeland Security and Emergency Services (NYS DHSES, 2014) estima que os EUA tenham custo de aproximadamente US\$ 300 milhões/ano devido a danos causados pela expansão dos solos. A Sociedade Americana de Engenheiros Civil estima que uma em cada quatro casas tem algum dano causado por solos expansivos. Em um ano típico, solos expansivos podem causar maior perda financeira para os proprietários do que danos causados por tremores de terra, inundações, tornados e furações combinados, NELSON e MILLER, (1992). A Associação de Seguradoras Britânicas estimou que o custo médio com solo expansivo para a indústria de seguros está em mais de 400 milhões de libras por ano DRISCOLL e CRILLY, (2000). Na Espanha o custo mínimo com a recuperação dos danos causados por solos expansivos é cerca de 1 bilhão de pesetas/ano AYALA, (1986). No Brasil não se têm dados específicos dos custos com danos causados por esses solos, quando inundados.

A tarefa de identificação e classificação de um solo expansivo pode ser dividida em duas partes: A primeira consiste na obtenção de informações prévias mediante fissuras nas edificações e informações junto aos moradores da região. A segunda na interpretação de ensaios de laboratório e no uso de métodos de identificação (PAIVA, 2009).

No Brasil, os solos expansivos podem ser encontrados em várias regiões do país. Entre as principais formações expansivas conhecidas estão as bacias sedimentares do Recôncavo Baiano, do Paraná e do Rio Grande do Sul (SIMÕES, 1987). Em Pernambuco, identificou e estudou solos expansivos nos municípios de Afrânio, Petrolina, Cedro, Cabrobó, Salgueiro, Floresta, Serra Talhada, Petrolândia, Inajá, Ibimirim, Carnaíba, Nova Cruz, Paulista, Olinda, Recife, Ipojuca e Cabo (FERREIRA, 2008).

O desenvolvimento econômico em conjunto com políticas ambientais do país vem cada vez mais ampliando os estudos sobre solos expansivos. Em Pernambuco, na região metropolitana de Recife, o município de Ipojuca, distando 45 Km da capital do estado contempla um grande complexo industrial, de Recife, havendo necessidade de grandes plataformas planas para suas edificações.

O relevo do complexo é constituído por morros, havendo necessidade de grandes movimentos de terra para as plataformas industriais. Esses movimentos propõem o nivelamento do terreno para a construção civil das indústrias, desta forma procura-se, na terraplenagem, fazer com que os volumes de cortes e aterros sejam próximos para que não necessitem de empréstimos ou bota-foras.

É grande o número de execução dessas plataformas em que foram encontrados solos expansivos. A solução mais simples para resolver o problema seria o descarte desse material. Os volumes dessas plataformas chegam a grandezas na ordem de milhões de metros cúbicos de movimento de solo, além de algumas estimativas ultrapassam 70% com solos expansivos. Descartar esse material significa criar outros dois problemas: 1) necessidade de grande área para o bota-fora gerando danos ao meio ambiente e 2) necessidade de jazidas de empréstimos com solos inertes gerando altos custos com deslocamento de transporte.

Este artigo tem como objetivo caracterizar o solo natural de Ipojuca utilizado nos aterros compactados em plataformas industriais, a mistura solo-areia nas proporções de 20% e 30% e comparar com os resultados da mistura

solo-cal nas proporções em peso com 3%, 5%, 7%, 9% e 11% realizado por Lima (2014).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As características geológicas dos terrenos formadores do complexo, na faixa costeira do sul de Pernambuco, vêm da idade meso-cenozóica, a Bacia do Cabo (ALMEIDA, 2003).

O controle tecnológico de aterros busca as normas que servem de base para a caracterização do solo. Para caracterização do solo, através da norma para amostra de solo, NBR 6457 (Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização). Para determinar os limites de liquidez e plasticidade, respectivamente, NBR 6459 (Solo – Determinação do limite de liquidez) e NBR 7180 (Solo – Determinação do limite de plasticidade), para determinar a granulometria, percentuais de argila, silte e areia presentes do solo, NBR 7181 (Solo – Análise granulométrica) para determinar a umidade ótima para a máxima densidade o ensaio de compactação NBR 7182 (Solo – Ensaio normal de compactação). Foram realizados os ensaios CBR NBR 9895 (Índice de suporte Califórnia) e os ensaios edométricos referenciados pela ASTM D4546 (Standard test methods for one-dimensional swell or collapse of soils) utilizado para medir tensão de expansão e pela ASTM D4829 (Standard Test method for expansion Index of soils) para medir expansão livre.

O programa de investigação geotécnica constou de três etapas para caracterizar o solo expansivo e as misturas solo-areia. A primeira parte constou da caracterização física e mecânica de 8 amostras de solo de diversas jazidas de corte em profundidades variando de 2 a 5 metros no aterro da plataforma industrial. Foram realizados ensaios de expansão “livre” com sobrecarga de 7 kPa e tensão de expansão com sobrecarga de 40 kPa, simulando o uso do solo expansivo sob um aterro compactado com solo não expansivo com 2,0 m de altura compactado na umidade ótima e peso específico aparente de 2,0 kN/m³ constituindo assim uma camada impermeável para evitar o contato de

águas com o solo expansivo.

Na segunda etapa foi misturado em campo ao solo natural areia nas proporções de 20 e 30% em volume. Foi executado em campo um aterro experimental com 3 faixas de solo medindo 10 m de largura, com 50 m de comprimento e 0,25 m de altura. Uma faixa foi compactada com o solo natural da jazida, outra no solo misturado com 20% de areia e a terceira faixa do solo com mistura de 30% de areia, os percentuais em volume. O Aterro recebeu materiais amolgados de uma mesma jazida de corte retirados por escavadeiras hidráulicas e transportados por caminhão tipo basculantes com capacidade de transporte de 16 m³ por viagem, após o lançamento do material no local do aterro, o solo é homogeneizado com motoniveladora e trator de grade, afere-se a umidade do solo e caso necessite, um caminhão pipa umedece levando para a umidade ótima, entra em cena o rolo compactador tipo pé de carneiro para atingir o grau de compactação superior a 95% de compactação. Após a homogeneização foram coletadas amostras nas 3 faixas para caracterização do material.

A terceira etapa compara-se os resultados da caracterização física e mecânica obtidos do solo natural com os da mistura do solo natural expansivo com areia, com mistura o solo-cal realizado por Lima (2014), em solo expansivo de Ipojuca.

A identificação do solo expansivo e das misturas será realizada por métodos indiretos qualitativos com os critérios por granulometria, índices físicos e classificação geotécnica (SKEMPTON, 1953; SEED et al. 1962; VIJAYVERVIY e GHAZZALY, 1973), além de métodos diretos quantitativos por ensaios de expansão “livre” e tensão de expansão (SEED et al. 1962; JIMENEZ SALAS (1980)

3 RESULTADO E ANÁLISES

Serão apresentados e discutidos os resultados da caracterização do solo natural, do solo misturado com 20% e 30% de areia e comparado com os resultados da mistura solo-cal realizado no solo de Ipojuca por Lima (2014).

3.1 Caracterização Física e Mecânica da Argila expansiva

A Figura 1 apresenta a distribuição dos grãos dos solos. A Tabela 1 apresenta os percentuais das frações dos solos, os limites de consistência, o peso específico aparente seco máximo, a umidade ótima, a expansão “livre” com sobrecarga de 7 kPa e a tensão de expansão após consolidação de uma tensão de 40 kPa.

O solo natural é predominantemente argiloso com fração de argila maior do que 78%, com baixo teor de silte e a fração areia varia de 3,20% a 22,7%. O índice de plasticidade é alta variando de 16% a 37%, a umidade ótima é elevada (27,1% a 33,7%) e peso o peso específico aparente seco máximo varia de 12,70 kN/m³ a 15,10 kN/m³.

Na Carta de Plasticidade (Figura 2) a relação entre LL e IP está situada abaixo da linha A. Isto não é frequente ser encontrado em solos expansivos, normalmente estão situadas acima da linha A. Situação semelhante foi encontrada por Ayala Carcedo et al (1986) na argila de Madri. O potencial de expansão da argila de Ipojuca é médio a alto pelos critérios de Van der Merwe (1964) e Seed et al (1962), Figura 3, inativo pelo critério de Skempton (1953). Considerando o critério de Seed et al (1962) para expansão “livre” para sobrecarga de 7 kPa a argila é classificada de alta a muito alta expansividade. Considerando os valores da

tensão de expansão e o critério de Jimenez Salas (1980) os danos causados nas edificações variam de pequenas fissuras para as amostras 1 e 4 (tensão de expansão entre 20 kPa e 50 kPa), fissuras importantes para a amostra 7 (tensão de expansão entre 50 kPa e 100 kPa), danos graves para as amostras 2 e 8 (tensão de expansão entre 100 kPa e 200 kPa), e requerendo demolição para as amostras 3,5 e 6 (tensão de expansão maior que 200 kPa).

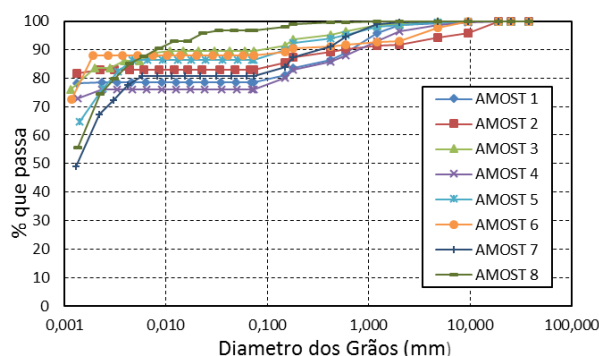


Figura 1. Curvas granulométricas solo natural.

A análise dos difratogramas de raios-X realizada por Paiva et al (2016) no solo indicam que há uma interestratificação irregular envolvendo minerais do tipo 2:1 Mica e expansivos (esmectitas e vermiculitas) além da presença da Clorita, identificando o solo como expansivo.

Tabela 1. Caracterização do solo natural.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedreg. (%)	WL (%)	IP (%)	$\rho_{dmax.}$ (kN/m ³)	$W_{otm.}$ (%)	Exp. “livre” (%) 7 kPa	Exp. c/ 40kPa (%)	Tensão c/ 40kPa (Kpa)
1	78,7	0,0	20,7	0,7	70	16	13,47	32,3	11,80	0,50	25,00
2	83,0	0,0	11,3	5,7	72	33	13,00	31,8	17,60	2,30	133,30
3	86,2	3,3	10,2	0,2	83	37	13,94	32,6	28,60	10,60	383,33
4	76,0	0,0	22,7	1,3	81	37	14,43	27,1	13,70	0,80	25,00
5	86,4	0,0	13,3	0,3	84	28	12,70	27,3	43,10	16,30	350,00
6	87,9	0,0	9,9	2,2	95	43	13,53	33,7	20,20	8,80	316,70
7	80,7	0,0	19,4	0,0	61	20	15,10	28,9	12,10	1,20	75,00
8	87,8	9,1	3,2	0,0	85	35	13,17	33,4	16,70	3,60	133,33
MÉDIA	83,3	1,6	13,8	1,3	79	31	13,67	31	20,48	5,51	180,21

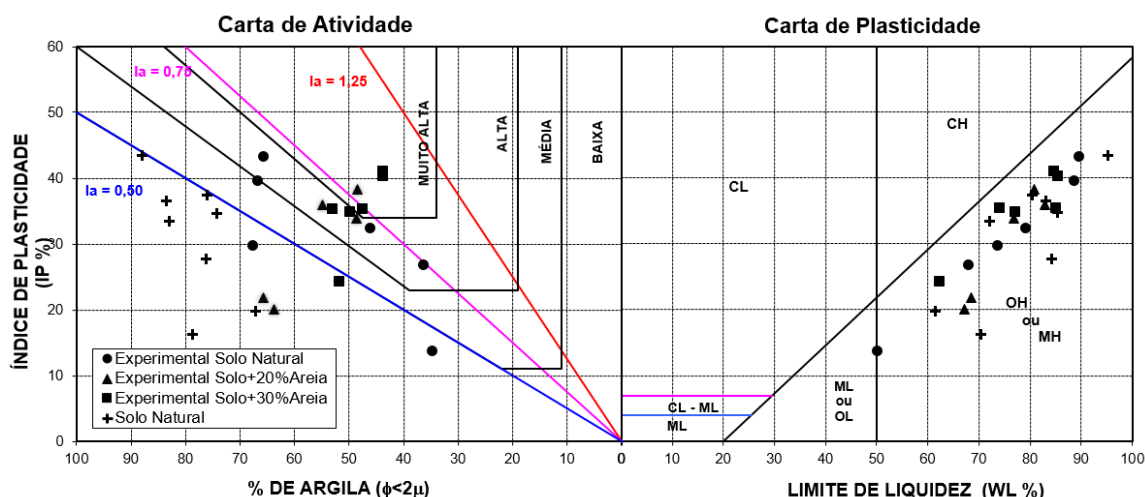


Figura 2. Carta de Atividade e Plasticidade com classificação de Skempton (1953) e Van der Merwe (1964).

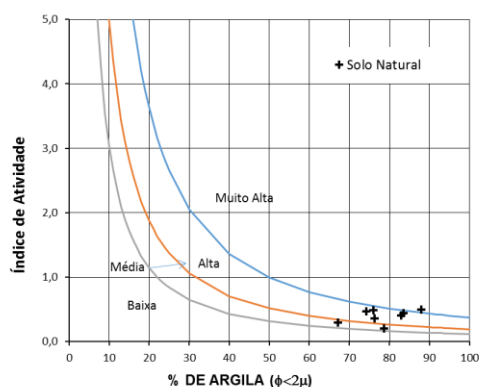


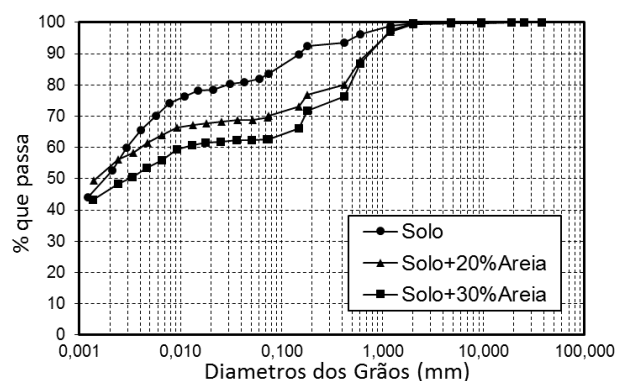
Figura 3. Critério de classificação de Seed et al (1962)

3.2 Caracterização Física e Mecânica da argila expansiva com areia

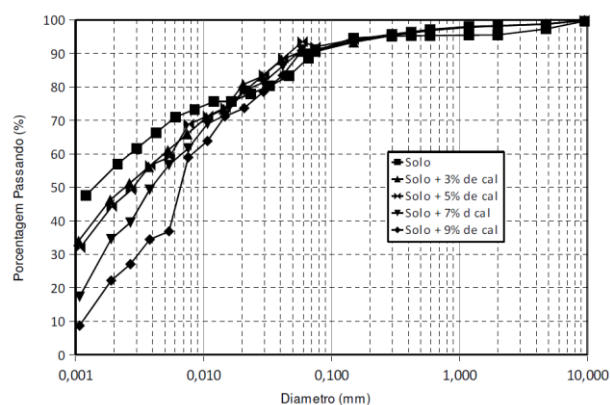
O Quadro 1 apresenta os resultados da caracterização física e mecânica do solo e das misturas solo natural e areia nas proporções de 20% e 30%. Estas amostras foram utilizadas na compactação do aterro experimental. A Figura 4a mostram as curvas granulométricas média do solo e da mistura solo com areia do aterro experimental.

Quadro 1. Caracterização do solo do aterro experimental.

	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedr (%)	WL (%)	IP (%)	$\rho_{dm\acute{a}x.}$ (kN/m ³)	W _{otm} (%)	I.S.C. (%)	Exp. CBR (%)	"Exp. Livre" 7 kPa (%)	Tensão de exp. (kPa)
SOLO NATURAL	87,1	8,1	4,8	0,0	74	30	14,20	30,4	3,5	8,1		
	62,8	19,2	17,9	0,2	79	32	14,24	28,1	4,2	8,1		
	52,8	13,8	33,3	0,1	68	27	14,67	23,4	4,7	4,9		
	57,3	24,4	18,3	0,0	50	14	14,08	24,3	6,9	6,6		
	78,5	5,4	16,0	0,0	90	43	15,96	22,6	4,9	6,0	29,5	233,3
	81,8	0,4	17,6	0,2	89	40	15,99	27,8	4,5	6,0	30,4	258,3
MÉDIA	70,1	11,9	18,0	0,1	75	31	14,86	26,1	4,8	6,6	30,0	245,8
80% SOLO 20% AREIA	65,7	0,0	34,3	0,0	69	22	15,96	22,6	6,8	7,0	22,6	
	67,7	2,8	29,3	0,1	83	36	16,01	25,6	6,0	5,7	20,5	
	62,7	15,7	21,6	0,0	77	34	15,43	21,5	3,2	6,5	23,6	
	63,7	0,0	36,2	0,0	67	20	16,48	23,8	5,6	4,8	23,4	150,0
	60,4	9,6	29,0	0,9	81	38	16,30	22,6	9,8	5,0	18,8	198,3
MÉDIA	64,1	5,6	30,1	0,2	75	30	16,04	23,2	6,3	5,8	21,8	174,2
70% SOLO 30% AREIA	54,9	6,7	38,3	0,0	85	35	15,50	20,5	7,1	4,8		
	53,0	0,0	46,9	0,1	74	35	15,24	21,6	5,8	5,2		
	59,7	3,7	36,2	0,4	62	24	16,18	21,4	5,1	4,2		
	53,3	8,2	38,4	0,0	86	40	16,50	21,8	7,1	4,7		
	53,3	6,5	40,2	0,0	85	41	16,70	20,4	8,3	4,9	23,3	72,5
	54,8	5,6	39,6	0,0	77	35	15,84	22,6	4,2	9,8	18,9	125,0
MÉDIA	54,9	5,1	39,9	0,1	78	35	15,99	21,4	6,3	5,6	21,1	98,8



(a)



(b)

Figura 4. a) Curvas granulométricas média do solo e da mistura solo com areia do aterro experimental; b) Curvas granulométricas da mistura solo-cal, LIMA (2014).

A adição da areia ao solo natural diminuiu a porcentagem de argila, aumentou em média a de silte e areia como era de se esperar pela própria elaboração da mistura. Em termos de valores médios, os valores dos limites de consistência praticamente não foram alterados com a adição da areia. A adição de areia (material inerte) não modifica a plasticidade da mistura, não altera o argilo mineral apenas reduz a quantidade da fração argila que contém os argilos minerais.

Como há uma redução da fração argila do solo natural comparada com a do solo misturado com areia na proporção de 20% e 30% e o limite de plasticidade teve pequena redução evidenciam uma importância da atividade ($IP / \% < 0,002 \text{ mm}$) sendo as misturas classificadas em sua maioria em com alta e muito alta expansividade.

A Figura 4b amostra resultados de curvas granulométricas de outra amostra de solo de ipojuca misturado com cal apresentados por Lima (2014) e a Figura 5 apresenta a variação percentual das frações do solo com a adição da cal. A adição da cal ao solo altera as frações do da mistura solo-cal, há um acréscimo na fração silte e diminuição da fração isto é devido a reações que modificam a microestrutura do solo. As melhorias das propriedades geotécnicas de solos estabilizadas com cal são atribuídas a quatro reações básicas: troca catiônica, floculação e aglomeração, carbonatação da cal e, finalmente, a reação pozolânica (EADES e GRIM, 1966; NÓBREGA, 1981; AL-RAWAS e GOOSEN, 2016; AL-MUKHTAR et al, 2010; CUISINIER et al, 2011; BARBOSA, 2013). Há

consenso na literatura sobre os primeiros três tipos de reações como reações instantâneas. No entanto, a reação pozolânica, que é considerado como o parâmetro mais relevante na estabilização solo-cal, depende do tempo. A reação pozolânica surge em um ambiente marcadamente alcalino (com $pH \geq 12$) produzido pela adição de uma quantidade mínima de cal ao solo expansivo. É este ambiente que se crê ser responsável pela dissolução lenta dos constituintes aluminosilicato de argila (octahedral e folhas tetraédricas).

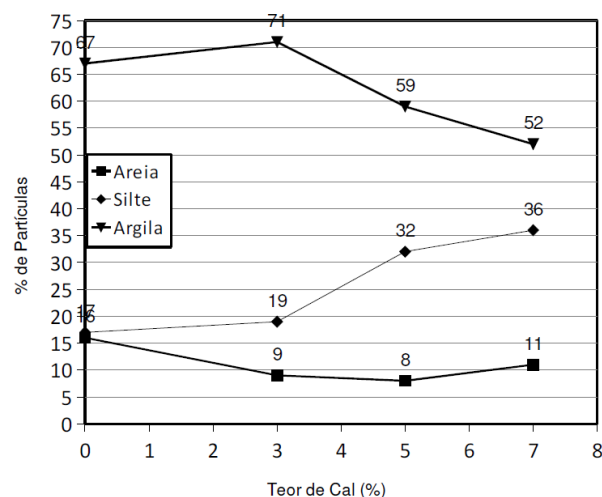


Figura 5. Variação das frações de areia, silte e argila com a adição de cal, LIMA (2014)

Resultados da expansão obtidos no ensaio de CBR, e da expansão “livre” obtidos no ensaio elométrico decresce com o acréscimo da fração areia. A adição de 30% de areia reduz a expansão obtida no CBR em 15% e no

edométrico simples em 30%, Quadro 1.

A Figura 6a mostra resultados médios da tensão de expansão obtida pelo método a volume constante no solo natural e nas misturas do solo com 20% e 30% de areia, e na Figura 6b) mostra resultados da tensão de expansão obtida pelo método a volume constante em outra amostra de solo de Ipojuca misturado com cal apresentados por Lima (2014).

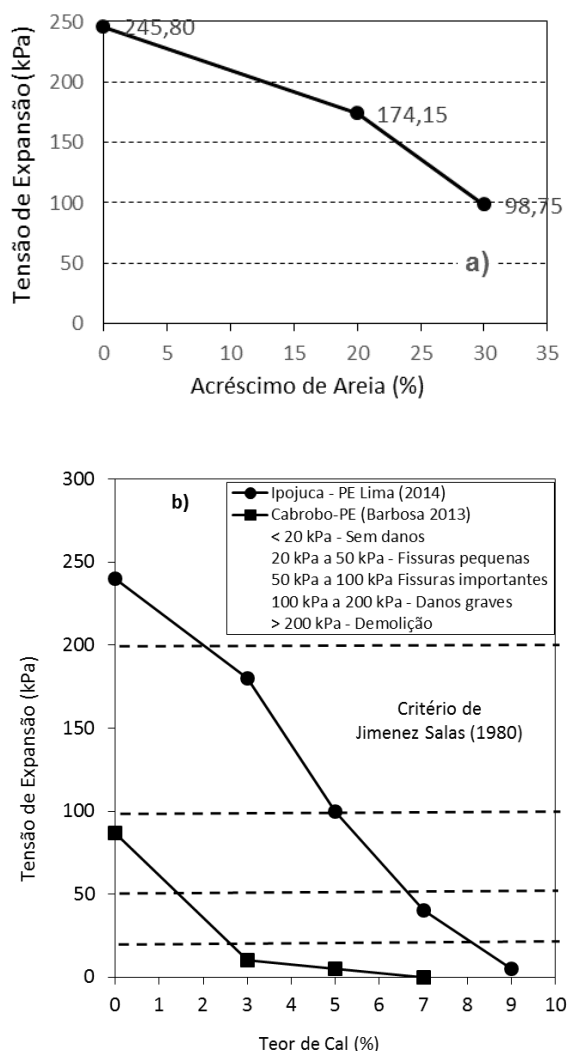


Figura 6. Variação tensão de expansão: a) Com adição de areia b) Com adição do teor de cal

O acréscimo de 30% de areia ao solo de Ipojuca reduziu a tensão de expansão de 250 kPa a 99 kPa indicando ainda o aparecimento de fissuras importantes e e muito próximo da indicação de danos graves pelo critério de Jimenez Salas (1980). A adição de 30% de areia ao solo de Ipojuca reduz a tensão de expansão do solo a valores equivalente a adição de 5% de

da Cal, comparando com os resultados obtidos por Lima (2014). A tensão de expansão foi reduzida a valores praticamente nulo com o acréscimo de 9,0% de cal.

A cal tem capacidade de flocular e aglomerar as partículas devido a elevação da concentração eletrolítica e redução da camada dupla difusa equilibrando a deficiência de carga das partículas de argila.

A estabilização de solo expansivo por meios físicos como por exemplo adição de areia não possuem eficiência significativa, porque na realidade só reduz a quantidade dos argilo-minerais mas não modifica a microestrutura.

4 CONCLUSÕES

O solo natural do município de Ipojuca possui elevadas frações de argila alta plasticidade. A expansão “livre” foi de 30% para sobrecarga de 7 kPa e tensão de expansão de 383 kPa com sobrecarga de 40 kPa. Apresenta alta expansividade pelo critério de Seed et al (1962).

A adição de 30% de areia ao solo de Ipojuca reduziu a tensão de expansão de 60% ficando ainda com valor alta de 98,8 kPa, equivalente a adição de 5% de cal. Enquanto a cal causa melhorias das propriedades geotécnicas de solos devido as reações de troca catiônica, floculação e aglomeração, carbonatação da cal e, finalmente, a reação pozolânica estabilizando o solo.

REFERÊNCIAS

- Al-Mukhtar, M., Lasledj, A., Alcover, J.F., (2010) “Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 20°C”, Applied Clay Science, v. 50, pp. 191–198.
- Al-Rawas, A.A., Goosen, M.F.A. (2006) Expansive soils: recent advances in characterization and treatment. London, Taylor & Francis group/Balkema, 526 p.
- Almeida, C. B., (2003). Mapeamento Geológico da Região do Engenho Sibiró – Porto de Galinhas (Litoral Sul, PE): Contribuição à Estratigrafia e à Tectônica da Sub-bacia de Pernambuco.
- American Society for Testing and Materials – ASTM, D4546, (2014). Standard test methods for one-dimensional swell or collapse of soils.
- ASMT D4829, (2011). Standard test method for expansion Index of soils.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 6457, (1986). Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
- _____. ABNT, NBR 6459, (1984a). Solo - Determinação do limite de liquidez.
- _____. ABNT, NBR 7180, (1984b). Solo - Determinação do limite de plasticidade.
- _____. ABNT NBR 7181, (1984d) Solo - Análise granulométrica.
- _____. ABNT NBR 7182, (1986) Solo - Ensaio de compactação.
- _____. ABNT, NBR 9895, (1987). Solo - Índice de suporte califórnia.
- Ayala Carcedo, J.F., Gijon, M.F., Mozo, C.O., Rodriguez J.L.S., (1986). Mapa predictor de riesgos por expansividad de argillas en España a Escala 1:1.000.000, In: Geología Ambiental. Instituto Geológico y Minero de España, Centro de Estudios y Experimentacion de Obras Publicas, España, Madrid.
- Barbosa, V. (2013) Estudo do comportamento geotécnico de um solo argiloso de Cabrobó, potencialmente expansivo, estabilizado com cal. Dissertação de MSc, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 115p,
- Cuisinier, O., Auriol, J.C., Leborgne, T., Deneele, D., (2011) “Microstructure and hydraulic conductivity of a compacted lime-treated soil”, *Engineering Geology* v.123, n.3, pp. 187–193.
- Driscoll R., Crilly, M., (2000). Subsidence damage to domestic buildings, Lessons learned and questions asked, London, Building Research Establishment.
- Eades, J.L.; Grim, R.E., (1966). A quick test to determine lime requirements for lime stabilization. In: Highway Research Record, Washington, D.C., n. 139, pp.61-72.
- Ferreira, S. R. M. (2008), Solos colapsáveis e expansivos: Uma visão panorâmica no Brasil In: VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Salvador. EDUFBA. v.2. p.593 – 619.
- Jimenez Salas, J.A. (1980). Cimentaciones en terrenos expansivos o colasables, In: *Geotecnia y Cimientos III*, v.1, pp. 533-650, Ed. Rueda, Madrid,
- Lima, Marcia A.A. (2014). Estudo do comportamento geotécnico de um solo argiloso de suape, potencialmente expansivo, estabilizado com cal. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Pernambuco.
- New York State Division of Homeland Security and Emergency Services (NYS DHSES). 2014. New York State Standard Multi-Hazard Mitigation Plan Draft, Section 3.13: Land Subsidence and Expansive Soils Hazard. Disponível em: <http://www.dhses.ny.gov/recovery/mitigation/documents/2014-shmp/Section-3-13-Land-Subs-Expansive-Soil.pdf> acessado em 18/04/2016.
- Nelson, J.D., Miller, D.J., (1992). *Expansive soils: problems and practice in foundation and pavement engineering*, New York, John Wiley & Sons.
- Nóbrega, M.T., (1981). Estabilização Solo-Cal. In: Associação Brasileira dos Produtores de Cal, Boletim 13, São Paulo, Brasil
- Paiva, S.C., Lima, M.A.A., Ferreira, M.G.V.X., Ferreira, S.R.M. (2016). Propriedades geotécnicas de um solo expansivo tratado com cal. *Revista Matéria*. (No Prelo).
- Paiva, W. (2009). Aplicação da estatística para descrever o comportamento de um solo expansivo. Tese (Doutorado) da Universidade Federal de Pernambuco, 193p.
- Seed, H.B.; Woodward, R.J. e Lundgran, R. (1962). Prediction of swelling potential of compacted clays, *Proceedings ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, 88: 107-131
- Simões, P. R. M. (1987). Aspectos relevantes sobre a implantação de obras de engenharia em solos e rochas expansivas. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento – Informe Técnico, nº 26, junho de 1987. Camaçari – BA.
- Skempton, A.W. (1953). The Colloidal Activity of Clays, *Proceedings of 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Zurich, Suíça, Vol. 1, p. 57-61.
- Van der Merwe D.H, 1964. The prediction of Heave from the Plasticity Index and the Clay Fraction. *Civil Engineering*, South Africa v. 6 p. 103 - 107.
- Vijayvergiya, V. N. e Ghazzaly, O. I. (1973). Prediction of Swelling Potencial for Natural Clays. *Proceedings of the 3rd International Conference on Expansive Soils*, Hayfa, Vol. 1, pp.227 – 236.