

AValiação TéCnica da aplicação da areia oleosa em estradas vicinais

Kátia Vanessa Bicalho
Carlos Olympto Lima Raposo
Regiovilson Angelo da Silva
Mestrado em Engenharia Civil
Universidade Federal do Espírito Santo

RESUMO

A areia oleosa é um resíduo dos processos de exploração e beneficiamento e de vazamentos nos dutos de distribuição de petróleo. Neste trabalho verifica-se experimentalmente, através de resultados de ensaios laboratoriais, a influência da umidade inicial de compactação, do teor de óleo e do tempo de cura de amostras de uma argila arenosa compactadas com diferentes teores de um óleo da região norte do estado do Espírito Santo. Os resultados dos ensaios de compressão simples e índice suporte Califórnia (CBR) mostram melhoria das características de resistência das amostras de argila arenosa ensaiadas para teores inferiores a 4% do óleo (% em massa seca). Observa-se ainda que a resistência das amostras compactadas varia muito com a umidade inicial de compactação.

ABSTRACT

The oil contaminated sand is a waste produced in the petroleum production chain. In this paper, laboratory tests were carried out to evaluate the effect of oil contamination on the compaction-strength characteristics of compacted sandy clay. The results indicated that the use of oil contaminated soil for road construction is possible from the engineering point of view, however, the oil content in the oil-contaminated sandy clay must be lower than 4% by weight of the dry sandy clay. It was also observed that the initial compaction water content has significant influence on CBR values.

1. INTRODUÇÃO

Na região norte do estado do Espírito Santo (ES) a PETROBRÁS explora poços de petróleo terrestres, gerando resíduos provenientes dos processos de exploração e beneficiamento e de vazamentos nos dutos de distribuição do petróleo. Para facilitar a retirada desse resíduo oleoso da área afetada, ele é misturado com areia para depois ser acondicionado em tambores e estocado em local próprio. Essa areia impregnada com óleo é denominada pela PETROBRÁS de “areia oleosa”.

O uso de solos estabilizados com a areia oleosa na construção rodoviária ou para outras aplicações de engenharia pode ser uma opção atrativa, em termos técnico, econômico e ambiental. Entretanto para a utilização desse material, existe a necessidade de uma ampla avaliação ambiental, incluindo a contaminação do solo e da água e os efeitos desse resíduo no homem e das propriedades geotécnicas dos solos estabilizados com óleo.

Dunn e Salem (1971) mostram uma redução na resistência de uma areia estabilizada com emulsão catiônica de betume com o aumento do teor de óleo (% em massa seca). Outra observação desse estudo é o significativo aumento da resistência com o tempo, utilizando uma cura ao ar e temperatura de laboratório. Al Sanad et al. (1995) estudaram algumas propriedades geotécnicas de uma areia do Kuwait contaminada com óleo e verificam uma redução do ângulo de atrito e da umidade ótima com o aumento do teor de óleo. Os estudos citados anteriormente utilizaram na compactação, óleo e água, fixando o teor de óleo e variando a umidade. Shin e Das (2000) e Shin et al. (2002) estudaram a resistência e permeabilidade de uma areia contaminada com óleo, compactando a areia com óleo, sem misturar água e verificaram uma redução do ângulo de atrito e da permeabilidade com o

acréscimo de óleo. É importante mencionarmos a falta de estudos na área de solos argilosos estabilizados com óleo.

Neste trabalho, avalia-se a resistência de amostras de uma argila arenosa compactadas com diferentes teores de um óleo da região norte do ES. Verifica-se experimentalmente, através de resultados de ensaios laboratoriais (compactação, CBR e compressão simples), a influência da umidade inicial de compactação, do teor de óleo e do tempo de cura das amostras da argila arenosa compactadas com diferentes teores de óleo. A utilização de material argiloso neste estudo, deve-se a grande disponibilidade desse material na região e porque a técnica utilizada pela PETROBRÁS na conservação dos 300km de estradas vicinais da região, consiste na aplicação de camadas compactadas de argila com areia. Além disso, a argila poderá encapsular o óleo, prevenindo uma possível contaminação ambiental. Faé et al. (2002) observou, através de testes de lixiviação e solubilização, que o encapsulamento promovido nas misturas de argila-areia-óleo avaliadas neste trabalho se mostrou eficaz na imobilização dos contaminantes presentes no resíduo.

2. ESTUDO EXPERIMENTAL

Para uma mistura argila-areia estabilizada com uma definida porcentagem de óleo, a resistência medida pode variar significativamente com: o ensaio usado para medir a resistência; o carregamento; a eficiência da mistura; a densidade em que o material é compactado; a umidade; a tensão de confinamento que a amostra está submetida; a temperatura em que o material foi misturado, curado e ensaiado e a idade da amostra. A resistência de misturas contendo diferentes teores de óleo varia com essas variáveis, assim, não é possível encontrar a quantidade de óleo “ótima” que leva a maior resistência, a não ser que todas as condições sejam também especificadas e controladas (Dunn e Salem, 1971).

2.1. Materiais

A areia, a argila natural e o óleo utilizados neste estudo, foram todos retirados da região de pedra D'água, município de São Mateus, no norte do ES. A areia fina quartzosa, grãos angulares, densidade dos sólidos igual a 2,66, coeficiente de uniformidade igual a 2,1 e coeficiente de curvatura igual a 1,0 foi classificada pelo Sistema Unificado de Classificação (SUC) como areia mal graduada (SP) e pelo sistema AASHTO como A-3. A argila natural foi caracterizada como argila silto-arenosa de cor marrom, contendo 62,4% de finos e 37,6% de areia (média e fina). A argila com limite de liquidez igual a 51,2% e índice de plasticidade igual a 29,7%, foi classificada pelo SUC como argila de alta plasticidade (CH). O óleo selecionado provém da exploração terrestre de petróleo na região de São Mateus, sendo conhecido como óleo SM-8. O óleo foi analisado por laboratório especializado do CENPES/PETROBRAS e as suas propriedades são resumidas na Tabela 1.

2.2. Preparação das amostras

Visando reduzir o número de variáveis do estudo, fixou-se uma proporção de areia e argila contendo 30% da mesma areia e 70% da mesma argila, em massa, para todos os ensaios realizados. Os valores de umidade e teor de óleo foram calculados em relação a massa seca da mistura argila-areia. Além disso, todas as amostras para os ensaios de compactação, resistência a compressão e CBR foram moldadas utilizando compactação dinâmica, com energia igual a 100% do Proctor Normal.

Tabela 1: Caracterização do óleo SM-8 (adaptado de Faé et al., 2002)

Análise	Método	Unidade	SM-8
Densidade	-	a 20 C	0,9459
Densidade	-	a 60 F	0,9447
API	-	a 60F	18,3
Ph	N-1215	a 25 C	6,75
Salinidade	N-1456 B	mg/l NaCl	54580
Cálcio	N-1458 B	mg/l Ca ++	3670
Magnésio	N-1458 B	mg/l Mg ++	575
Viscosidade 40F	N-2539	CSt	439,7
Viscosidade 50F	N-2539	CSt	231,9
Viscosidade 60F	N-2539	CSt	135,4

As amostras foram preparadas com diferentes teores de óleo (% , calculado em relação a massa seca da mistura argila-areia), adicionando-se a quantidade pré-determinada de óleo à mistura argila-areia e homogeneizando-se. A esta mistura adicionou-se a água necessária para cada ensaio. Após um descanso de aproximadamente 15 minutos, procedeu-se uma mistura homogeneizada. Depois desse processo, as amostras foram compactadas, na forma cilíndrica, com dimensões de 10cm de diâmetro e 12cm de altura para o ensaio de compactação ou 15cm de diâmetro e 11,5cm de altura para o ensaios de CBR.

No ensaio de compressão simples, as amostras foram compactadas no cilindro do ensaio CBR. Foram empregadas três amostras idênticas com dimensões de 5cm de diâmetro e 10cm de altura, obtidas a partir do cilindro de CBR, para a determinação de cada ensaio de compressão simples.

2.3. Ensaios de compactação

Os ensaios de compactação foram realizados com corpos de prova preparados com a mistura argila-areia (previamente homogeneizada) adicionada de teores de 0%, 2,0%, 3,0%, 4,2%, 5,9% e 10,4% do óleo SM-8. Como o óleo SM-8 possui água livre em torno de 12%, a quantidade de água no óleo foi considerada nos cálculos de umidade e peso específico seco. As equações consideradas foram:

$$\chi = \frac{M_{so} + M_{ao}}{M_{ss}} = \frac{M_{to}}{M_{ss}} \quad (1)$$

em que, χ : teor de óleo em massa

M_{so} : massa seca de óleo

M_{ao} : massa de água no óleo

M_{to} : massa total de óleo = $M_{so} + M_{ao}$

M_{ss} : massa seca de solo

$$\omega_{nor} = \frac{M_{total} - M_{seca} - M_{ao}}{M_{ss}} = \frac{M_{as}}{M_{ss}} \quad (2)$$

em que, ω_{nor} : umidade normalizada do solo

M_{total} : massa total da mistura + óleo antes de ir à estufa

M_{seca} : massa de solo + óleo após secagem em estufa

M_{ao} : massa de água no óleo

M_{ss} : massa seca de solo

M_{as} : massa de água no solo

$$\gamma_{dnor} = \frac{\gamma_t}{1 + (\omega + \chi)} \quad (3)$$

em que, γ_{dnor} : peso específico seco normalizado

γ_t : peso específico total da mistura

χ : teor de óleo

ω_{nor} : umidade normalizada do solo

Os resultados dos ensaios de compactação (valores normalizados) são apresentados na Figura 1. Verifica-se que o peso específico aparente seco normalizado ($\gamma_{d\ nor}$) e a correspondente umidade ótima normalizada ($\omega_{ótima\ nor}$) diminuem com o acréscimo de óleo, devido a ação lubrificante do óleo SM-8. Ao compararmos a curva sem óleo com as curvas de compactação das misturas com óleo, podemos observar que houve pouca variação no peso específico aparente seco normalizado ($\gamma_{d\ nor}$) correspondente a umidade ótima normalizada ($\omega_{ótima\ nor}$) para as misturas de 2,0%, 3,0% e 4,2 % de óleo, uma redução suave para a mistura de 5,9% de óleo e uma redução acentuada para a mistura de 10,4 % de óleo. Estando os resultados de acordo com as análises apresentadas na literatura por Dunn e Salem (1971), Al Sanad et al. (1995), para amostras de areia e óleo compactadas.

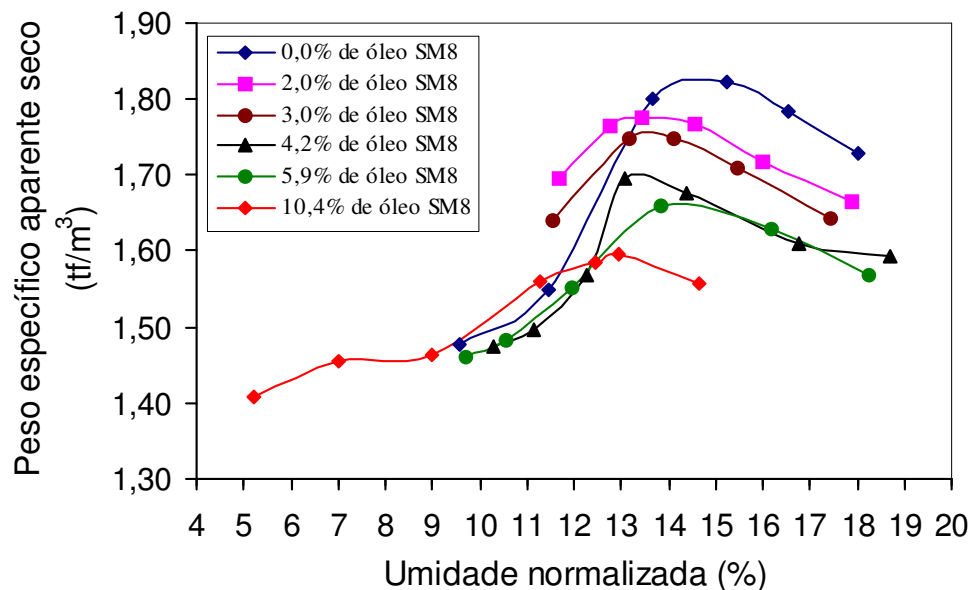


Figura1: Efeito dos diferentes teores de óleo SM-8 nas curvas de compactação

2.3. Ensaios CBR

Um dos ensaios largamente utilizados para fornecer parâmetros para projetos de pavimentos devido ao relativo baixo custo e simplicidade de procedimento (Sánchez-Leal, 2002), é o ensaio CBR, ou Índice de Suporte Califórnia (DNER, 1964). O ensaio CBR é um ensaio semi-empírico, onde a resistência à penetração de um pistão rígido é medida, e as pressões correspondentes às penetrações de 2,5mm e 5,0mm são expressas em termos de percentagem de duas pressões padrão, sendo considerado, como valor do CBR, o maior dos dois (Hight e

Stevens, 1982; Ceratti e Lopes, 1985).

O ensaio de CBR foi subdividido em inundado e não inundado. O CBR inundado foi utilizado para verificar a influência do teor de óleo nas amostras compactadas e o CBR não inundado para verificar a influência da ω_{nor} inicial das amostras compactadas com mesmo teor de óleo.

2.3.1. CBR inundado

O CBR inundado, realizado de acordo com a NBR 9895/87 e ASTM D 1883/ 7.1, fornece uma boa comparação entre amostras com diferentes teores de óleo, pois apesar destas amostras terem sido compactadas com diferentes umidades normalizadas (ω_{nor}), as amostras foram inundadas e ficaram na mesma condição de saturação. Os ensaios de CBR foram realizados em amostras com 0%, 2%, 3%, 4,2% e 5,9% de óleo, em massa, todas as amostras foram preparadas no teor de água ótimo correspondente a máxima densidade seca para os diferentes teores de óleo. A Figura 2 mostra que as amostras com 2%, 3% e 4,2% de óleo SM-8 obtiveram os maiores valores de CBR, comparados às amostras sem óleo, como pode ser visto na Tabela 2. A Tabela 2 mostra que a amostra com 5,9% de óleo, teve uma resistência menor que a amostra sem óleo. Logo, para conseguirmos melhorar a resistência da mistura estudada, devemos utilizar quantidades inferiores a 5,9% de óleo SM-8.

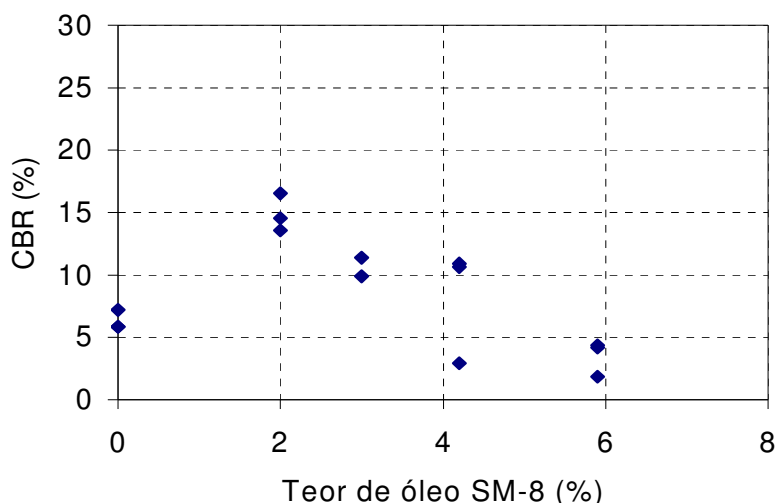


Figura 2: Relação entre CBR inundado e diferentes teores de óleo SM-8.

Tabela 2: Influência do teor de óleo SM-8 no peso específico seco correspondente a umidade ótima normalizada da mistura de areia e argila

Teor de óleo (%)	Peso específico seco normalizado máximo (tf/m ³)	Umidade ótima normalizada (%)	CBR(%)
0	1,76	15,5	6
2	1,78	13,5	15
3	1,77	13,2	11
4,2	1,70	12,7	8
5,9	1,66	13,5	4
10,4	1,61	11,7	-

Nota: Os valores apresentados representam uma média de três determinações

2.3.2. CBR não inundado

Os ensaios de CBR não inundado foram executados conforme as recomendações da norma ASTM D 1883, variante 7.2, pois a norma brasileira não utiliza essa variante do ensaio CBR. Ele foi utilizado para verificar a influência da umidade normalizada (ω_{nor}) inicial nas amostras compactadas.

Neste ensaio foram utilizadas as mesmas amostras compactadas contendo 0,0%, 2,0%, e 3,0% de óleo do ensaio de compactação. Na Figura 3 apresentam-se os resultados dos ensaios de compactação e CBR não inundado da mesma mistura argila-areia com 0,0%, 2,0%, e 3,0% de óleo SM-8. Observa-se para os três teores de óleo analisados, que as amostras com 12% de ω_{nor} tiveram um CBR em torno de 25% e as amostras com 6% a mais de ω_{nor} , em torno de 18%, tiveram um CBR de 3%, demonstrando a grande variação encontrada no valor do CBR, com a variação da umidade normalizada. Verifica-se também, que a maior variação do CBR ocorre na região da umidade ótima normalizada ($\omega_{\text{nor}} \text{ ótima}$), confirmando a variação na micro estrutura entre o lado seco, onde cresce a floculação, e úmido da ótima, onde cresce a dispersão.

A Figura 3 mostra a importância da umidade ótima normalizada (ω_{nor}) de compactação na microestrutura dos solos coesivos, como está indicado pela brusca variação no valor do CBR com a umidade (ω_{nor}) inicial de compactação, na região da umidade ótima. Para o mesmo valor de peso específico aparente seco normalizado (γ_{dnor}) a microestrutura formada por valores abaixo da umidade ótima normalizada (ω_{nor}) resulta em maiores valores de CBR, já a microestrutura formada acima da umidade ótima normalizada (ω_{nor}) resulta em menores valores de CBR. Os resultados experimentais mostram que a umidade normalizada inicial das amostras compactadas, influenciam de forma visível o valor do CBR apresentado pelas amostras. Outra observação importante resulta da grande variabilidade observada no valor do CBR para amostras com mesmo valor de γ_{dnor} e valores de ω_{nor} acima ou abaixo da $\omega_{\text{nor}} \text{ ótima}$.

2.3. Ensaios de compressão simples

Os ensaios de compressão simples foram realizados, de acordo com a NBR 12770/92, em amostras com 0%, 4,2%, 5,9% e 10,4% de óleo, todas as amostras foram preparadas na $\omega_{\text{nor}} \text{ ótima}$ correspondente ao máximo peso específico aparente seco normalizado para os diferentes teores de óleo. Este ensaio foi realizado para verificar a influência do teor de óleo e do tempo de cura na resistência à compressão simples da mistura areia-argila e óleo.

Na Figura 4, ao compararmos a resistência à compressão simples das misturas com e sem óleo, observamos que houve pouca variação na resistência à compressão simples para a mistura de 4,2% de óleo, uma redução suave para a mistura de 5,9% de óleo e uma redução mais acentuada para a mistura de 10,4 % de óleo. Essas análises confirmam os resultados dos ensaios de compactação, onde as amostras com 10,4% de óleo tiveram os menores valores de $\gamma_{\text{dnor}} \text{ máximo}$. A variação entre os valores encontrados para as amostras com 4,2% de óleo deve-se a uma pequena variação da umidade inicial de compactação, ver CBR não inundado.

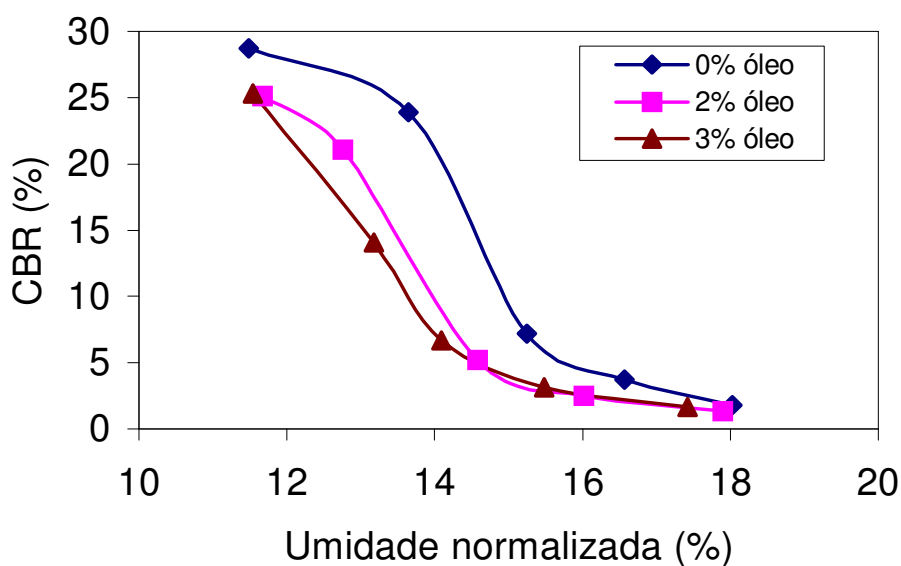
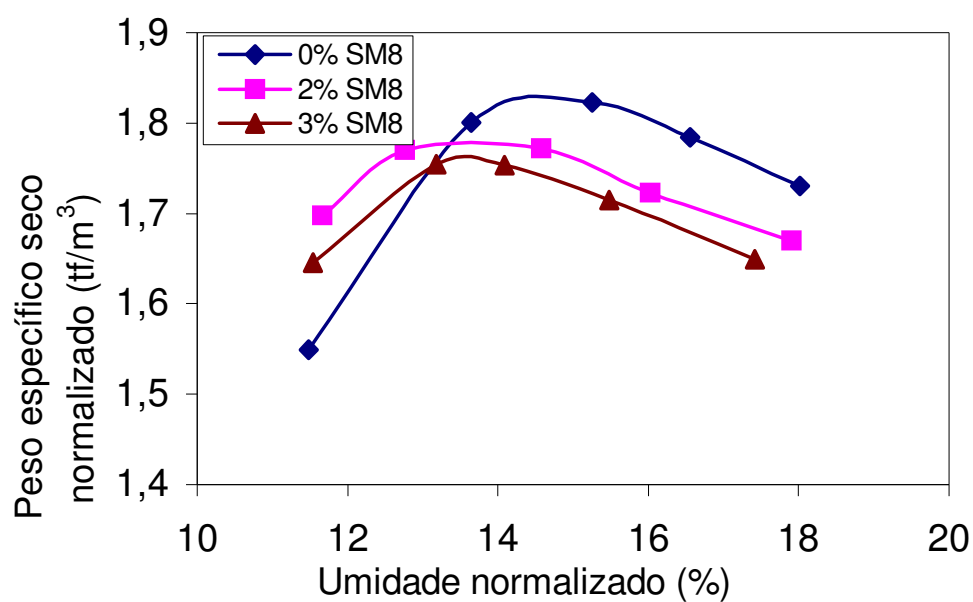


Figura 3: Influência da umidade normalizada inicial de compactação nos ensaios de CBR para a mistura argila-areia com 0,0%, 2,0% e 3,0% de óleo SM-8.

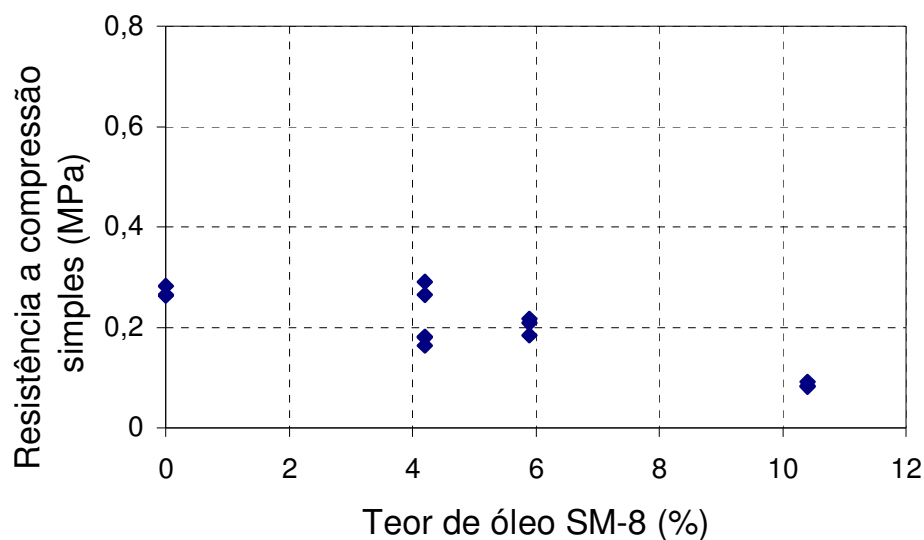


Figura 4: Influência do teor de óleo na resistência à compressão simples para a mistura argila-areia com 0,0%, 4,2%, 5,9% e 10,4% de óleo SM-8.

Investigou-se a influência do tempo de cura nos resultados dos ensaios de compressão simples em amostras com 4,2% de óleo SM-8. As amostras foram moldadas na umidade ótima normalizada correspondente ao $\gamma_{dnorm\acute{a}x}$ e estocadas por um período de 17 dias em recipiente hermeticamente fechado, para que a sua umidade não se alterasse com o tempo. A resistência aumentou com o tempo, passando de 0,28 MPa antes da cura para 0,38 MPa após o período de 17 dias, utilizando uma cura em temperatura ambiente e com a mínima perda da umidade inicial de compactação. Este resultado foi bom, apesar das umidades iniciais de compactação das amostras com 0 e 17 dias não serem exatamente as mesmas, que pode ter auxiliado no ganho da resistência, ver CBR não inundado.

3. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através dos ensaios de compactação, compressão simples e CBR, mostram que houve uma pequena variação nos valores das propriedades geotécnicas estudadas para as misturas com teores de óleo inferiores a 4,2%, uma redução suave para teores de óleo entre 4,2% e 6% e uma redução acentuada para teores de óleo superiores a 6%. Esta observação é válida para teores de óleo SM-8 inferiores ao máximo estudado, 10,4%.

Para o intervalo estudado entre 2,0% e 5,9% de óleo SM-8 o CBR inundado não varia significativamente com a umidade inicial de compactação. Nos valores de CBR inundado das amostras com 2,0% e 3,0% de óleo SM-8, observa-se um ganho de resistência em relação as amostras sem óleo. Entretanto, para uma melhor avaliação desses resultados, deve-se efetuar um maior número de ensaios com esses teores de óleo.

Verifica-se através dos ensaios de CBR não inundado, que a umidade inicial de compactação influencia mais no valor do CBR que o teor de óleo SM-8. Para o mesmo valor de peso específico aparente seco normalizado (γ_{dnor}), a microestrutura formada a baixos valores de umidade ótima normalizada (ω_{nor}) resulta em maiores valores de CBR. Os resultados mostram que os valores de CBR podem diminuir em várias ordens de magnitude na região da ω_{nor} ótima, confirmando a definida variação na micro-estrutura de solos compactados entre o lado seco

(floculada) e úmido (dispersa) da umidade ótima (Barden e Sides, 1970).

Nos ensaios de compressão simples para as amostras com 4,2% de óleo, podemos observar um acréscimo da resistência à compressão simples com o tempo de 17 dias. Mas para analisarmos melhor essa influência do tempo de cura nas misturas compactadas com óleo, será necessário realizar um maior número de ensaios, que poderão ser realizados numa pesquisa futura.

Este trabalho avalia as características de resistência da mistura argila-areia e óleo influenciadas pelo tempo de cura, pelo teor de umidade inicial de compactação e pelo teor de óleo. Entretanto, existem inúmeras variáveis envolvidas na estabilização da mistura argila-areia-óleo que não puderam ser investigadas no presente estudo. As propriedades geotécnicas podem variar de acordo com o: tipo de material (argila, areia e óleo) e suas características; tipo e tempo de mistura, ordem de adição dos materiais na mistura; tipo de energia de compactação (dinâmica ou estática), do intervalo de tempo entre a mistura e a compactação, da energia de compactação utilizada e da densidade encontrada após a compactação; tipo e o tempo de cura; variação das condições ambientais (temperatura, evaporação e drenagem). Ficando assim como sugestão para trabalhos futuros, um estudo mais amplo dessas variáveis nas características geotécnicas dos solos estabilizados com óleo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o recebimento de recursos da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, PETROBRAS e CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Sanad, Hasan, EID, Walid K., Ismael, Nabil F, (1995) Geotechnical Properties of Oil-Contaminated Kuwaiti Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, v. 121, N 5, May, p. 407–412.
- Al-Sanad, Hasan, Ismael, Nabil F (1997) Aging Effects on Oil-Contaminated Kuwaiti Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 123, N 3, March, p. 290–293.
- ASTM D 1883 (1994) Standard test method for CBR (California bearing ratio) of laboratory-compacted soils. *Annual Book of ASTM Standards*: v. 04.08.
- Augusto JR., Fernando, Cunha, Márcio Angelieri (1991) Utilização de resíduo industrial para Tratamento de leito de estrada de Terra nos trechos de acesso aos oleodutos da Petrobrás, II Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos-REGEO'91, Rio de Janeiro, p. 19–32.
- Bardem, L., Sides, G. R. (1970) Engineering Behavior and Structure of Compacted Clay, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering*, July, p. 1171-1200.
- Bervian, P A, Cervo, A.L (1996) *Metodologia Científica*, São Paulo: Makron Books, 209p.
- Ceratti, J. A. Pereira, Lopes, F.R. (1985) Uma análise Paramétrica do ensaio CBR, *Revista Solos e Rochas*, Nota técnica, v. 08, p. 37-44.
- Delancey D. Wayne (1976) Waste Use in Highway Construction. *Transportation Research Record*, 593: 09 – 12.
- Dunn, C.S., Salem, M.N. (1971) Influence of processing procedures on strength of sand stabilized with cationic bitumen emulsion, *Highway Research Record*, Washington, D.C., N351, p. 50-65.
- Faé, M. I., Braga, F. S., Bicalho, K. V., Silva, M. G. (2002) Viabilidade técnica, ambiental e econômica da areia oleosa em estradas vicinais e em artefatos de concreto, *Relatório Final*, Projeto CTPETRO-FINEP edital 03/2000, Vitória, ES.
- Hight, D. W., Stevens, M. G. H. (1982) Na analysis of the California Bearing Ratio test in Saturated Clays, *Geotechnique* 32, N 4, pp. 315-322.
- Raymond A. Forsyth and Joseph P. Egan (1976) Use of Waste Materials in Embankment Construction. *Transportation Research Record*, 593: 03 – 08.
- Sanchez-Leal, F.J. (2002) Interpretation of CBR-test results under the shear-strength concept of unsaturated soil mechanics. *International Conference on Unsaturated Soils-UNSAT 2002*, Recife, v. 2, p. 663-668.
- Sharma, H.D.; Harris, M. C. and Scott, J.D (1986) Bearing Capacity of Bored Cast-in-Place Concrete Piles on

- Oil Sand. Journal of Geotechnical Engineering, 112(12): p.1101 – 1116.
- Shin, E.C., DAS, B. M. (2000) Some Physical Properties of Unsaturated Oil-Contaminated Sand Advances in Unsaturated Geotechnics, ASCE N99, p. 142-152.
- Shin, E.C., Omar, M. T.; Tahmaz, A.A.; Das, B. M. and Atalar, C. (2002) Shear strength and hydraulic conductivity of oil-contaminated sand, Environmental Geotechnics, de Mello & Almeida (eds.) v.1,p. 9-13.
- Souza, Marcelo Marques de; Estabilização de Solos – Conceitos, Técnicas e Recomendações.” Cap. 01,02 e 03, UGF.
- Turner, J.P. (1994) Soil Stabilization using Oil-Shale Solid Waste. Journal of Geotechnical Engineering, 120(4): p. 646-660.

Katia Vanessa Bicalho (kvb@click21.com.br)
Carlos Olympo Lima Raposo
Regiovilson Angelo da Silva
Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo,
Av. Fernando Ferrari s/n – Vitória, ES, Brasil