

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E TENTATIVA DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE TRÊS SOLOS TROPICAIS DE SERGIPE, BRASIL

GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION AND ATTEMPT OF BITUMINOUS STABILIZATION OF THREE TROPICAL SOILS FROM SERGIPE, BRAZIL

Cavalcante, Erinaldo, *Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, erinaldo@ufs.br*
Santos, Washington, *Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, wsantos@ufs.br*
Veiga, Isabella, *Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, isabella.geopav@ufs.br*

RESUMO

Nesta comunicação são apresentados resultados de uma pesquisa envolvendo a estabilização betuminosa de três solos tipicamente encontrados no estado de Sergipe, Brasil. Trata-se de um solo arenoso, um areno-argiloso e, o último, argilo-siltoso. Utilizou-se uma emulsão asfáltica catiônica do tipo RL-1C, com teores variando entre 2 e 8%, em massa. Os solos foram geotecnicamente caracterizados e foram realizados ensaios de compactação, Califórnia Bearing Ratio, Resistência à Compressão Simples e Resistência à Tração por Compressão Diametral. A pesquisa permitiu concluir que o ganho de resistência, principalmente em termos de Resistência à Compressão Simples, depende do tipo de solo e do teor de emulsão. Um teor de emulsão até 2% foi suficiente para aumentar significativamente a resistência dos solos mais argilosos, enquanto que para os arenosos foram necessários teores entre 4 e 8%.

ABSTRACT

In this paper are presented results of a research involving the bituminous stabilization of three soils typically found in Sergipe, Brazil, with a sandy soil, the second is a sand-clay soil and the third, silty-clay soil. Were used the cationic asphalt emulsion kind RL-1C, with contents ranging between 2 and 8% by weight. Geotechnical testes were performed, as Intermediate Proctor compactation, California Bearing Ratio (CBR), Resistance to Simple Compression (RCS) and Tensile Strength by Diametral Compression (RT). It was concluded that the three soils tested gained strength with the presence of the emulsion, however, the gain of resistance depends on the kind soil and the emulsion content. A emulsion content until 2% was enough to increase significantly the resistance of clayey soils, while is necessary a content between 4 to 8% to increase resistance for sandy soils.

1. INTRODUÇÃO

Em diversos estados brasileiros, principalmente aqueles situados nas regiões Norte e Nordeste, a engenharia rodoviária se depara com a escassez de solos de boa qualidade para a construção de base e sub-base de pavimentos. Em contrapartida, é bastante comum nessas regiões a ocorrência de jazidas de solos considerados tropicais (lateríticos ou não lateríticos) que, mesmo não se enquadrando nas especificações rodoviárias contidas nas metodologias tradicionais, têm a possibilidade de serem melhorados para uso em estruturas de pavimentos, principalmente naqueles de baixo volume de tráfego e de baixo custo. Este trabalho tem a finalidade de apresentar resultados obtidos de uma pesquisa envolvendo três solos frequentemente encontrados no Estado de Sergipe, região Nordeste do Brasil (Figura 1), os quais foram

submetidos ao processo de estabilização química, usando-se uma emulsão asfáltica do tipo RL-1C (Santos, 2009; e Cavalcante et al., 2009).

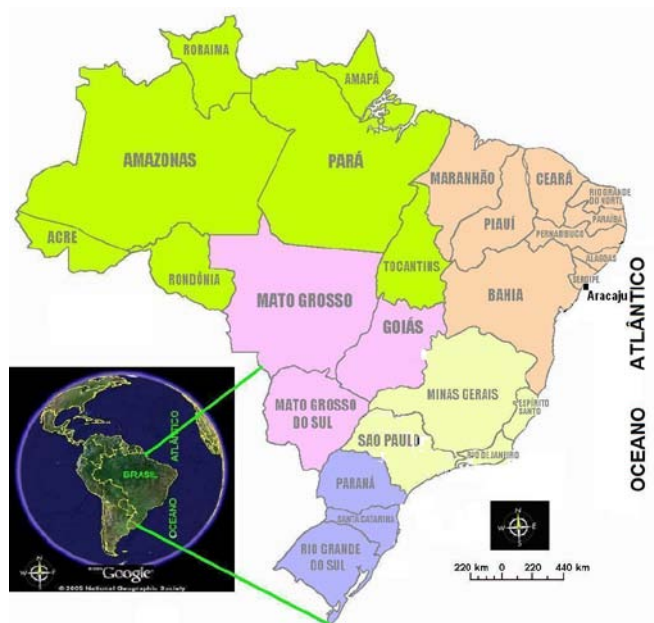


Figura 1 – Mapa Político Brasileiro com a Indicação de Localização desta Pesquisa

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Principais Métodos de Estabilização de Solos

A literatura revela que dentre os métodos disponíveis para a estabilização de solos visando a construção de estradas, três se destacam, em razão dos bons resultados alcançados com a aplicação em diversos tipos de solos. São eles: i) estabilização mecânica, por compactação; ii) estabilização granulométrica, na qual se faz a correção na granulometria da matriz de solo e, iii) a estabilização química, realizada através da adição de outros agentes estabilizantes ao solo.

2.2. Breve Discussão Sobre os Métodos de Estabilização de Solos

A compactação é considerada o procedimento mais comum e simples empregado na estabilização de solos. O processo consiste em promover mecanicamente a redução dos vazios do solo natural, por meio da aplicação de impactos sucessivos. O aumento na densidade do solo resulta no aumento da sua estabilidade perante possíveis variações no teor de umidade (Vargas, 1978). Este tipo de estabilização se constitui numa técnica muito empregada nas principais obras de terra, como pavimentação e barragens.

Outra forma de estabilização bastante comum é a granulométrica, em que se faz a mistura de solos distintos para a obtenção de um material com melhor comportamento geotécnico. Com esse método, procura-se dotar a composição de solos de uma textura mais enquadrada, bem como uma adequação da plasticidade (Santos et al., 1995). Os processos empregados nas dosagens são os mais diversos, destacando-se: o Processo Algébrico, o do Triângulo e a Construção Gráfica de Rothfuchs (Caputo, 1977). Existem também outros procedimentos alternativos, não tão comuns quanto o granulométrico, tais como: tratamento térmico de secagem ou congelamento (Ingles e Metcalf, 1972; Soliz, 2007; e Cristelo, 2001), tratamento elétrico e eletro-osmose (Castelo Branco, 1978).

No processo de estabilização química, objeto desta pesquisa, se faz a adição ao solo de uma substância que promove a reação química com este, com a água contida na matriz terrosa, ou com qualquer outra substância presente na mistura, de modo a melhorar as características geotécnicas do conjunto, em termos de resistência, deformabilidade, permeabilidade da mistura ou do próprio solo original. Os agentes estabilizantes podem ser os mais diversos, podendo-se destacar o cimento Portland, cal, emulsão asfáltica, CAP, polímero, cloreto, hidróxido de sódio, entre outros (Guida, 1971; Santana, 1976; Araujo et al., 1982; Ferreira e Bezerra, 1982; Alcântara et al., 1995; Santos et al., 1995; Macêdo, 2004; Ingles e Metcalf, 1972; Soliz, 2007; e Thuler, 2005).

Este trabalho está centrado no uso de uma emulsão asfáltica catiônica como agente estabilizante de solos, pois, como se sabe, os materiais asfálticos quando empregados como agentes estabilizantes, produzem efeitos importantes para a melhoria do comportamento geotécnico. Esses efeitos podem ser agrupados em três tipos (Woods et al., 1960): i) promover resistência para materiais sem coesão, como areias ou solos muito arenosos (areia-asfalto); ii) estabilizar ou inibir a umidade contida nos finos dos solos argilosos (solo-betume); e iii) incorporar resistência por coesão e alguma impermeabilização aos materiais que apresentam apenas resistência por atrito entre os grãos (cascalho ou areia-emulsão).

Os propósitos de uma estabilização betuminosa podem ser de diminuir a absorção de água através das partículas que constituem a fração fina dos solos. Conforme comentado por Yoder e Witczak (1975), se os objetivos forem maximizar a resistência, serão necessários teores mais altos de material asfáltico, mostrando-se antieconômico para rodovias de baixo volume de tráfego, em que geralmente se associa à ideia de um pavimento de baixo custo. Entretanto, o teor de emulsão asfáltica mais adequado, por exemplo, vai depender do tipo de solo a ser estabilizado, e nem sempre o teor será elevado, conforme demonstram resultados obtidos nesta pesquisa, que se constitui em parte das atividades desenvolvidas para a dissertação de mestrado de Santos (2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Solos

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram escolhidas duas jazidas situadas em municípios próximos à capital do Estado de Sergipe: a jazida Jabotiana, donde se obtiveram duas amostras de solos, AMJ e JAB, bem distintas entre si, sendo o solo AMJ de matriz arenosa e o JAB um solo areno-argiloso; e a jazida localizada na Fazenda Rancho Alegre, donde se obteve a amostra denominada FRAL, cujo solo tem textura predominantemente argilo-siltosa. A Figura 2 mostra detalhes dos perfis de solos usados nesta pesquisa.

3.1.2. Material Estabilizante

Na tentativa de alterar as propriedades de resistência dos solos escolhidos para esta pesquisa, utilizou-se como agente estabilizante uma emulsão asfáltica, catiônica, tipo RL-1C. Foram empregados os seguintes teores de emulsão, em massa de solo: 2, 4, 6 e 8%. Para se analisar a influência da emulsão no comportamento dos solos, foram empregadas duas condições básicas i) ensaios realizados com o solo puro, como primeira situação; e, ii) ensaios realizados com mistura solo-emulsão, segunda situação. Para ambos os casos, as amostras foram compactadas e os ensaios foram realizados após um período de cura de 7 dias.

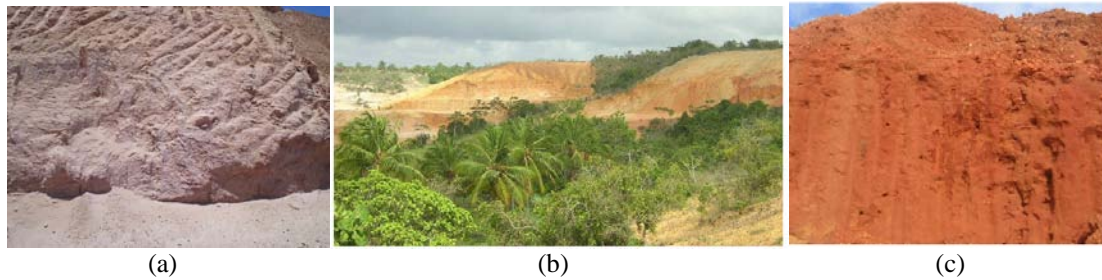


Figura 2 – Feições dos Solos Coletados para esta Pesquisa: a) Arenoso (AMJ); b) Areno-argiloso (JAB); c) Argilo-siltoso (FRAL)

4. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.2. Solos

4.2.1. Ensaios Geotécnicos Tradicionais

As atividades experimentais começaram com os ensaios de caracterização das três amostras. Em seguida, foram realizados alguns ensaios especiais, tais como Difração de Raios-X, Microscopia Eletrônica de Varredura e Ensaios Químicos, visando a identificação dos minerais presentes na microestrutura dos solos.

O Quadro 1 mostra um resumo da composição granulométrica e textural dos solos estudados, de onde se pode observar que a amostra AMJ é constituída de um material com forte predominância de areia, enquanto que o solo JAB possui composição mista (areno-argilosa), e o solo FRAL é um material de textura argilo-siltosa, conforme se percebe nas respectivas distribuições granulométricas apresentadas na Figura 3 (frações de areia, argila e silte).

Quadro 1 – Composição Granulométrica e Textural das Amostras

AMOSTRAS					
AMJ		JAB		FRAL	
Composição	(%)	Composição	(%)	Composição	(%)
Pedregulho	2,43	Pedregulho	1,86	Pedregulho	0,13
Areia	79,84	Areia	58,71	Areia	7,54
Silte	1,86	Silte	8,36	Silte	37,43
Argila	15,87	Argila	31,07	Argila	54,90

No Quadro 2 são apresentados os limites de Atterberg obtidos para os solos analisados, de onde se pode observar o caráter argiloso das amostras JAB e FRAL, enquanto que o solo AMJ se apresenta não líquido (NL) e não plástico (NP), em virtude de seu caráter predominantemente arenoso.

Quadro 2 – Limites de Atterberg das Amostras Coletadas nas Jazidas

Jazida	Limites de Atterberg		
	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
AMJ	NL	NP	-
JAB	22	15	7
FRAL	45	21	24

NL – Não líquido; NP – Não Plástico

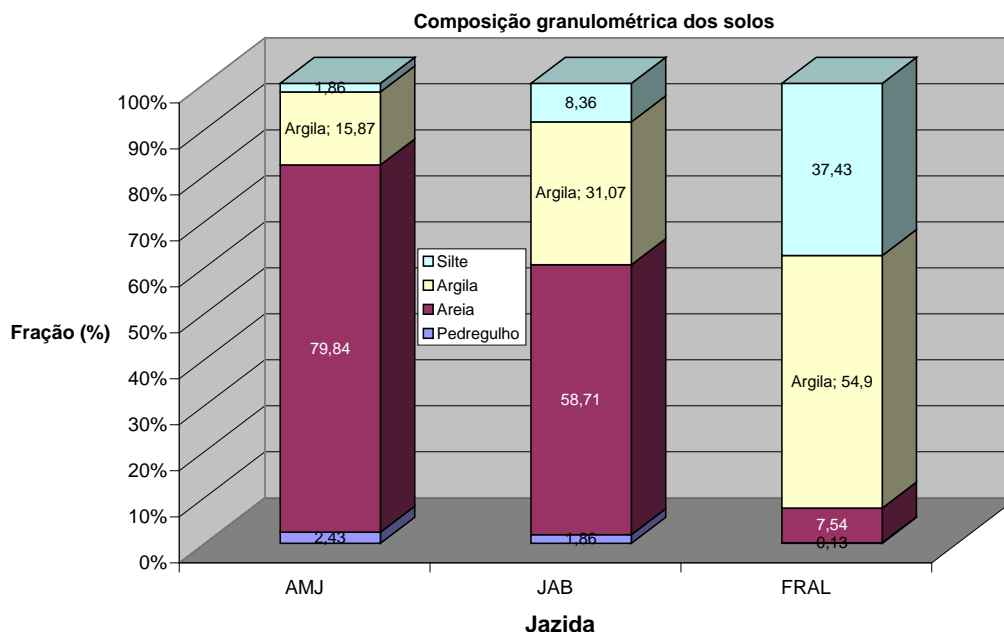


Figura 3 – Distribuição Granulométrica dos Solos Estudados

Baseado na granulometria e nos limites de Atterberg, estão apresentadas no Quadro 3 as classificações AASHTO e USCS aplicadas às amostras. De acordo com os parâmetros do sistema AASHTO se constata que o solo FRAL deveria ser estabilizado ou reforçado para ser usado em subleito.

Quadro 3 – Classificação das Amostras com Base nos Sistemas da AASHTO e USCS

AMOSTRA	AASHTO	USCS
AMJ	A – 2 – 4 (0)	SM
JAB	A – 4 (0)	SC–SM
FRAL	A – 7 – 6 (24)	CL

No Quadro 4 estão apresentados os valores dos pesos específicos secos máximos e dos teores de umidades ótimas, na condição natural das amostras, os quais foram determinados através do ensaio de compactação, empregando-se a energia do Proctor Intermediário.

Quadro 4 – Parâmetros de Compactação das Amostras Obtidos dos Ensaios de Proctor Intermediário

AMOSTRA	$\gamma_{sm\acute{a}x}$ (kN/m ³)	w _{ót} (%)
AMJ	19,80	10,6
JAB	19,82	11,2
FRAL	18,22	16,0

No Quadro 5 são mostrados os valores do índice californiano de carga de um solo (CBR), da expansão, da resistência à compressão simples (RCS) e da resistência à tração por compressão diametral (RT), obtidos com os corpos de prova dos solos puros, ensaiados após um período de cura de sete dias, realizada ao ar livre. As amostras foram compactadas com auxílio de um soquete Proctor eletromecânico, sob um nível de energia citado no parágrafo anterior. O período de cura dos corpos de prova foi de sete (7) dias em câmara úmida, e o tempo de submersão das amostras para os ensaios de CBR foi de quatro (4) horas, após a pesagem destes no último dia de cura. Os ensaios de compactação foram realizados de acordo com as recomendações prescritas na norma NBR 7182 (1986).

Quadro 5 – Valores de CBR, RCS e RT Obtidos das Amostras de Solos Naturais

AMOSTRA	CBR (%) (%)	Expansão (%)	RCS (kPa)	RT (kPa)
AMJ	70	0,02	240,1	70,0
JAB	39	0,23	1326,9	349,4
FRAL	11	2,84	1550,0	574,7

Do Quadro 5 se observa que, das três amostras, a que apresentou o maior valor de CBR e o menor valor de expansão foi o solo arenoso (AMJ). Por outro lado, sob as mesmas condições de compactação e cura, o solo que apresentou os maiores valores de RCS (1550 kPa) e RT (574,7 kPa) foi o solo mais argiloso, denominado FRAL, exibindo o menor valor de CBR e elevada expansão.

4.2.2. Ensaio Especiais

No Quadro 6 são apresentadas as composições químicas das três amostras de solo, de onde se podem calcular alguns índices usados para classificar solos tropicais, tais como as relações sílica/alumina (K_i) e sílica/sesquióxidos (K_r), conforme postas nas equações 1 e 2, respectivamente.

$$K_i = \frac{\text{sílica}}{\text{alumina}} = \frac{Si_2O_3}{Al_2O_3} \quad [1]$$

$$K_r = \frac{\text{sílica}}{\text{sesquióxidos}} = \frac{Si_2O_3}{(Al_2O_3 + Fe_2O_3)} \quad [2]$$

Quadro 6 – Resultados das Análises Químicas dos Solos

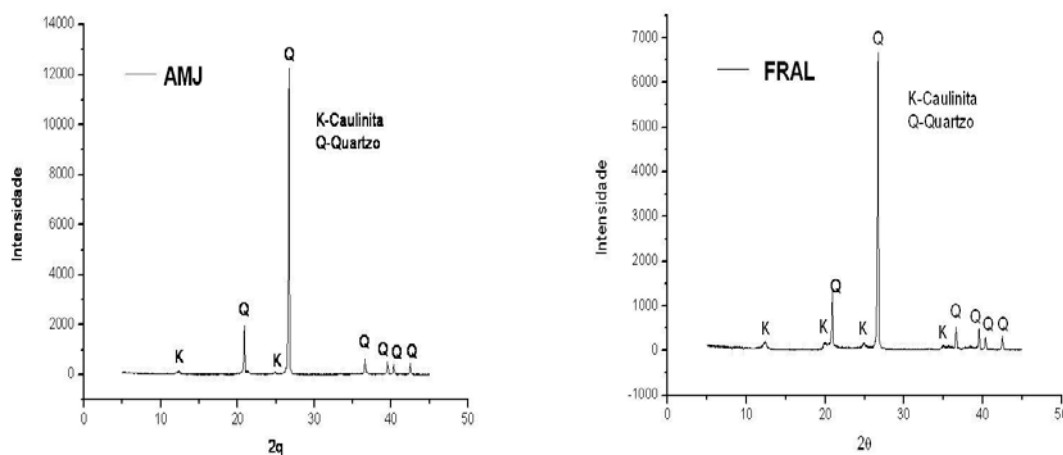
Composto químico	Denominação	Percentual na amostra (%)		
		AMJ	JAB	FRAL
Pr	Perda ao rubro	10,93	8,12	5,50
SiO ₂	Óxido de Silício	47,20	66,56	69,66
RI	Resíduo Insolúvel	3,30	4,74	3,32
Fe ₂ O ₃	Trióxido de Ferro	4,45	3,20	7,82
Al ₂ O ₃	Trióxido de Alumínio	31,01	17,00	13,63
C _a O	Óxido de Cálcio	Traços	Traços	Traços
M _g O	Óxido de Magnésio	Traços	Traços	Traços
Na ₂ O	Óxido de Sódio	0,08	0,20	0,04
K ₂ O	Óxido de Potássio	0,07	0,10	0,03

Quadro 7 – Valores das Relações Sílica/Alumina e Sílica/Sesquióxidos dos Solos

AMOSTRA	Índices	
	Sílica/Alumina K_i	Sílica/Sesquióxidos K_r
AMJ	1,52	1,33
JAB	3,92	3,30
FRAL	4,19	3,25

O valor de K_i será menor, quanto menor for o grau de intemperismo do solo. Quando esse índice é inferior 2,0, significa que o solo pode pertencer ao grupo dos solos lateríticos. Assim, do Quadro 7, constata-se que os solos das jazidas JAB e FRAL se mostram mais intemperizados que a amostra AMJ e que os solos JAB e FRAL não seriam classificados como lateríticos.

Nas Figuras 4a e 4b são mostrados os difratogramas de Raios-X obtidos para as amostras AMJ e FRAL, respectivamente. Das figuras se pode observar a presença de acentuados picos de quartzo, motivados pela presença de areia, mais acentuado para a amostra predominantemente arenosa, bem como a presença do argilomineral caulinita, constituindo as partículas da fração argila.



(a) (b)
 Figura 4 – Difratogramas de Raios-X Obtidos das Amostras: (a) AMJ (solo SM) e (b) FRAL (Solo CL)

4.3. Emulsão Asfáltica

A emulsão asfáltica utilizada foi do tipo ruptura lenta, de carga elétrica de partícula positiva, ou seja, emulsão catiônica RL-1C, fornecida pela distribuidora Brasquímica Ltda. As propriedades da emulsão utilizada nesta pesquisa encontram-se no Quadro 8.

Quadro 8 – Características da Emulsão Fornecida pela Brasquímica Para Esta Pesquisa

Propriedade	Especificação ABNT/IBP	Resultado (*)	Método ABNT
Viscosidade Saybolt Furol (seg) a 25°C	Max 70	23	P-MB-581
Sedimentação após 5 dias	% em peso max 5,0	2,7	NBR-6570
Peneiração – retido na Nº 20	% em peso max 0,1	0,02	P-MB-609
Carga de partícula	Positiva	+	NBR-6567
pH máximo da emulsão	Max 6,5	1,9	NBR-6299
Resíduo por destilação	% em peso min 60	60,3	NBR-6568
Mistura com cimento	< 2,0 %	0,3	NBR-6569
Densidade	25°C	1010	-

(*) Média de dois ensaios

5. RESULTADOS DOS ENSAIOS COM AS MISTURAS SOLO-EMULSÃO - CBR, RCS E RT

Os dados de compactação obtidos dos solos misturados com emulsão estão apresentados no Quadro 9, enquanto que os valores do CBR (e da expansão) e RCS e RT das misturas estão nos Quadros 10 e 11, respectivamente, mantendo-se o período de cura de 7 dias, para estabelecer a compatibilidade com os ensaios realizados com os solos puros. Do Quadro 10 se observa que, em termos de CBR, nenhum dos solos experimenta influência positiva nos valores com a presença da emulsão, para todos os teores. De fato, para a maioria dos casos há diminuição nos valores de CBR, revelando que esse parâmetro não pode ser considerado referência para avaliar os efeitos da emulsão na estabilização de solos.

Quadro 9 – Parâmetros de Compactação das Misturas, do Ensaio Proctor Intermidiário

AMOSTRA	Solo Natural		Teor de Emulsão RL-1C							
			2%		4%		6%		8%	
	$\gamma_{smáx}$ (kN/m ³)	W _{ót} (%)	$\gamma_{smáx}$ (kN/m ³)	W _{ót} (%)	$\gamma_{smáx}$ (kN/m ³)	W _{ót} (%)	$\gamma_{smáx}$ (kN/m ³)	W _{ót} (%)	$\gamma_{smáx}$ (kN/m ³)	W _{ót} (%)
AMJ	19,80	10,6	19,89	10,2	19,88	8,6	19,95	8,7	19,77	8,4
JAB	19,82	11,2	19,62	11,2	19,16	11,4	19,18	11,2	18,81	9,9
FRAL	18,22	16,0	18,17	15,7	17,90	16,2	18,02	15,0	17,55	15,9

Quadro 10 – Valores de CBR e Expansão das Misturas de Solo com Emulsão

AMOSTRA	Solo natural		Teor de emulsão RL-1C							
			2%		4%		6%		8%	
	Parâmetros da Mistura									
	CBR (%)	Exp (%)	CBR (%)	Exp (%)	CBR (%)	Exp (%)	CBR (%)	Exp (%)	CBR (%)	Exp (%)
AMJ	70	0,02	62	0,04	52	0,04	33	0,00	27	0,03
JAB	39	0,23	22	0,12	14	0,00	13	0,03	12	0,34
FRAL	11	2,84	13	1,09	11	2,19	10	1,17	9	1,79

No Quadro 11 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples e de resistência à tração das amostras de solo com emulsão asfáltica, após a cura de sete dias. Cada valor representa a média de três amostras, preparadas nas condições ótimas de compactação.

Quadro 11 – Valores de RCS e RT das Misturas de Solo-Emulsão

AMOSTRA	2%		4%		6%		8%	
	RCS	RT	RCS	RT	RCS	RT	RCS	RT
(kPa)								
AMJ	571,4	127,5	530,9	201,4	684,5	244,5	637,1	235,0
JAB	1610,5	333,9	1602	580,4	1537	394,1	1453,5	411,3
FRAL	2568,8	597,4	2464,2	580,4	2304,2	568	1700,5	455,2

Analisando-se os dados mostrados no Quadro 11, constata-se que, para todos os solos, os valores de Resistência à Compressão Simples obtidos tendem a crescer com a presença da emulsão em sua matriz, ao contrário do que foi observado com os dados de CBR. Entretanto, esse incremento na RCS se dá para um teor de emulsão até 2%, para os solos JAB e FRAL, enquanto que para o solo AMJ, o mais arenoso dos três, os aumentos de resistência mais expressivos só ocorrem para teores de emulsão maiores, entre 6 e 8%, em comparação com os valores mostrados no Quadro 5.

Na Figura 5 os valores da RCS dos três solos são postos no mesmo gráfico, para todos os percentuais de emulsão usados nos ensaios, em comparação com a RCS dos solos na condição natural compactada, com cura de sete dias (teor de 0%). Constata-se, mais uma vez, que o teor de emulsão de 2% é suficiente para conferir aos solos das jazidas JAB e FRAL o maior ganho de resistência, exigindo-se um estudo mais detalhado da amostra AMJ para se buscar o teor de emulsão mais adequado à estabilização. Analisando-se ainda os dados contidos no Quadro 11, observa-se que os valores de RT obtidos das misturas de solo com emulsão revelam que o teor ótimo de emulsão é maior para o solo mais arenoso, diminuindo para os solos menos arenosos.

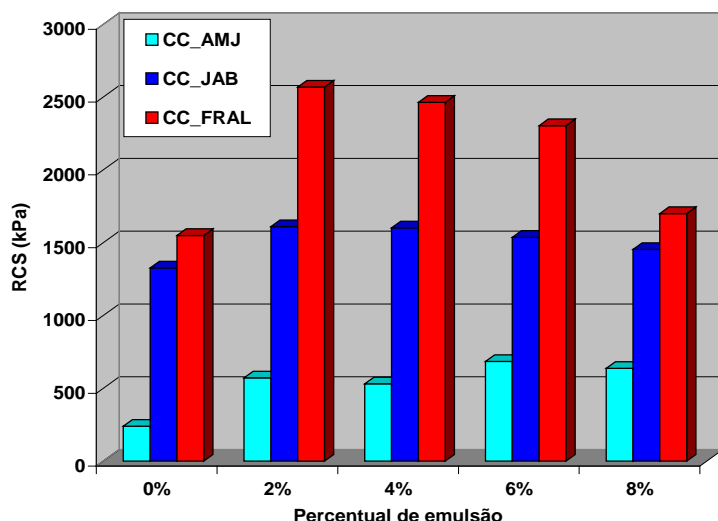


Figura 5 – Valores de RCS Versus o Teor de Emulsão Presente no Solo, Após Sete Dias de Cura

Comparando-se os dados de RT das amostras com cura aos sete dias contidos no Quadro 11 com os seus análogos do Quadro 5 (solos compactados puros), conclui-se que o solo da jazida AMJ ganha expressivo incremento de resistência com o teor de 6% de emulsão. Para a amostra JAB, o ganho mais considerável se dá com 4% de emulsão no solo, enquanto o solo mais argiloso teve apenas um leve aumento no valor de RT, com o teor de emulsão de apenas 2%.

Os autores estão analisando os resultados de ensaios triaxiais de carga repetida realizados com as amostras de solos naturais e com as misturas para, a partir dos valores dos Módulos de Resiliência, se fazer uma comparação dos resultados até então obtidos pelos ensaios apresentados neste trabalho.

6. CONCLUSÕES

Os valores de CBR não serviram de parâmetro para avaliação dos efeitos da emulsão nas misturas com os solos, nos teores analisados.

Ao final do período de cura de 7 dias, observou-se que os três solos testados experimentaram ganhos de resistência com a presença da emulsão em sua matriz. Todavia, esse incremento nos valores de RCS se dá para um teor de emulsão até 2%, para os solos mais argilosos (jazidas JAB e FRAL). Por outro lado, para o solo da jazida AMJ, o mais arenoso dos três, os aumentos consideráveis de resistência só ocorreram para teores de emulsão na faixa de 4 a 8%, merecendo, portanto, um maior banco de dados para a definição do teor de emulsão mais adequado à estabilização desse tipo de solo.

Os ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral indicaram que os efeitos benéficos da emulsão nos valores da RT são maiores para os solos mais arenosos, e, quanto maior a fração areia na matriz terrosa, maior o teor de emulsão para se incrementar a resistência, em comparação com o solo puro. Concluiu-se também que o solo mais argiloso sofreu pouco incremento de resistência com a ação da emulsão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à Petrobrás, à Finep e à Rede Asfalto N/NE pelo suporte financeiro concedido para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alcântara, M. A., Lima, D., Bueno, B. S. e da Costa, L. (1995). Considerações Sobre o Uso de Aditivos Químicos em Regiões Tropicais. In: 29º Reunião Anual de Pavimentação, ABPv. Cuiabá/MT, Brasil, pp. 99-110.
- Araújo, R. N. A., Ferreira, H. C. e Lucena, F. B. (1982). Estabilização de Solos Lateríticos com Emulsão Catiônica RM-1C. VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Olinda/Recife/PE, pp. 48 – 66.
- Caputo, H. P. (1977). *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações* (Vol. 2). Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Castelo Branco, J. E. (1978). *Estudo da Eletrosmose em Solos Finos*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Cavalcante, E. H., Santos, W. J., Stumpf, T. R. A e Veiga, I. L. (2009). Uso de Emulsão Asfáltica na Estabilização Química de Três Solos de Sergipe. IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço. Fortaleza/CE, Brasil. Vol. 1, pp. 25-31.
- Cristelo, N. M. C. (2001). *Estabilização de Solos Residuais Graníticos Através da Adição de Cal*. Escola de Engenharia, Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho. Minho/PT.
- Guida, H. N.(1971). *Estabilização de um Solo Fino Laterítico pelo Ácido Fosfórico*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Ingles, O. G. & Metcalf, J. B. (1972). *Soil Stabilization Principles and Practice*. Butterworths, Sydney, Austrália, 374p.
- Ferreira, A. M. e Bezerra, R. L. (1982). *Estabilização de Três Solos com uma Emulsão Asfáltica Catiônica*. VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. pp. 78 – 94. Olinda/Recife/PE, Brasil.
- Macêdo, M. M. (2004). *Solos Modificados com Cimento – Efeito no Módulo de Resiliência e no Dimensionamento de Pavimentos*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- NBR 7182 (1986). *Solo – Ensaio de Compactação*. Método de Ensaio. ABNT, Rio de Janeiro.
- Santana, H. (1976). Estabilização Betuminosa de Revestimentos Primários. Anais da 1ª Reunião de Técnicos em Manutenção de Estradas de Rodagem – 1º REMETER. Fortaleza/CE, Brasil.
- Santos, W. J. (2009). *Avaliação do Uso de Emulsão Asfáltica na Estabilização Química de Três Solos de Sergipe*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Dissertação de Mestrado. Campina Grande/PB, Brasil.
- Santos, M. F., Lima, D. C. e Bueno, B. S. (1995). Estabilização dos Solos com Cal e Betume. VI Reunião Anual de Pavimentação Urbana. Santos/SP, Brasil, pp. 74-97.
- Soliz, V. V. P. (2007). *Estudo de Três Solos Estabilizados com Emulsão Asfáltica*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Thuler, R. B. (2005). *Estudo de Solos do Estado do Rio de Janeiro para Aplicação em Rodovias de Baixo Volume de Tráfego*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro/RJ, Brasil.
- Vargas, M. M. (1978). *Introdução à Mecânica dos Solos*, McGraw-Hill, São Paulo/SP, Brasil.
- Yoder, E. J. & Witczak, M. W. (1975). *Principles of Pavement Design*. John Willey & Sons Incorporation, 2nd Edition. Canadá, 711p.
- Woods, K. B., Berry, D. S. & Goetz, W. H. (1960). *Highway Engineering Handbook*. McGraw-Hill Book Company. New York/USA.