

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA, DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA E DA VARIAÇÃO DE UMIDADE DE SOLOS LATERÍTICOS DO INTERIOR PAULISTA ESTABILIZADOS COM EMULSÃO ASFÁLTICA

David Alex Arancibia Suárez

Alexandre Benetti Parreira

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Transportes

RESUMO

O objetivo principal deste artigo é avaliar a resistência, o módulo de resiliência (MR), o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e a variação da umidade de dois solos lateríticos do interior paulista, estabilizados com emulsão asfáltica. Os solos foram submetidos a ensaios de caracterização e classificados de acordo com o sistema Unificado e o método HRB. O estudo envolveu a análise dos solos na condição *in natura* e misturados com 2, 4, 6 e 8% de emulsão asfáltica. Os corpos-de-prova foram compactados na energia do Próctor Normal, submetidos a períodos de cura de até 28 dias e a períodos de imersão em água de 4 horas. Os resultados indicam incrementos de resistência nas misturas solo-emulsão, e menor susceptibilidade ante à ação da água, indicando um melhor comportamento ante condições de umidade adversas para os pavimentos.

ABSTRACT

The principal aim of this current study is to evaluate the strength, the resilient modulus (MR), the California Bearing Ratio (CBR) and the variation of the moisture content of two lateritics soils of the Interior District of São Paulo State, stabilized with asphalt emulsion. The soils were subjected to tests of characterization and classified according to the Unified system and method HRB. The experimental program involved the use of *in natura* soils and the mixture with 2, 4, 6 e 8% of emulsion content. The samples were compacted in the standard Proctor compaction energy, were cured for 28 days and involved the effect of the immersion in water for 4 hours. The results had shown increases of strengths mixtures soil-emulsion, decreases of the water susceptibility performance, showing a better behavior to adverse moisture conditions of pavements.

1. INTRODUÇÃO

A construção, reabilitação e manutenção de pavimentos no Brasil e no mundo inteiro têm utilizados solos e materiais granulares para a composição de camadas estruturais de base, sub-base e reforço de subleito. No entanto, as restrições impostas por órgãos ambientais no tocante à exploração de jazidas que fornecem estes materiais, têm incentivado o uso de alternativas como, a estabilização de solos para o aproveitamento de materiais locais, diminuição das distâncias de transporte e conseqüentemente a redução do impacto ambiental produzido pela exploração destas áreas.

A utilização de soluções que aproveitam materiais locais ou materiais alternativos tornou-se uma medida eficaz para resolver este tipo de problema. Entretanto, os solos existentes no local da construção normalmente não satisfazem às especificações exigidas para a construção de camadas estruturais de pavimentos. Nesse sentido, a estabilização de solos surge como uma alternativa prática para solucionar esta situação, já que proporciona aos solos as características necessárias para a sua utilização na construção de rodovias.

A estabilização betuminosa tem sido amplamente estudada em muitos países devido aos efeitos favoráveis que esta proporciona aos solos. Por exemplo, solos finos e solos argilosos que apresentam, de maneira geral, elevada plasticidade, baixa capacidade de suporte e elevada susceptibilidade às condições de umidade adversa são estabilizados com materiais betuminosos. Segundo Kezdi (1979), esta técnica baseia-se nas ações impermeabilizante na fração argilosa, e de coesão, na fração arenosa constituintes do solo.

As modificações dos solos pela ação do betume conferem às misturas solo-emulsão características próprias. De modo geral, o betume influencia de forma favorável as propriedades físicas e mecânicas dos solos. Segundo Phillip (2008), a estabilização betuminosa mediante o uso de emulsões asfálticas promove alterações no comportamento dos solos, provenientes das seguintes ações:

- Uma ação a curto prazo, promovida pela redução da perda de umidade nas primeiras horas de cura, diminuindo o trincamento pelo efeito da contração das misturas.
- Uma ação a longo prazo, caracterizada pela ação betuminosa que envolve e se dispersa nos grãos dos solos, aglutinando-os com o decorrer do tempo, proporcionando um aumento da resistência e uma diminuição à susceptibilidade frente à ação da água.

De maneira geral, as características de compactação das misturas solo-emulsão apresentam diferenças com o solo *in natura*. Essas diferenças implicam em misturas com uma menor densidade seca máxima e um menor teor de umidade ótima que a do solo não estabilizado (ARANCIBIA, 2008). Normalmente, nas misturas solo-emulsão, tanto a densidade seca máxima como a umidade ótima diminuem com o aumento do teor de emulsão. (TxDOT, 2004)

Para acompanhar as mudanças das propriedades mecânicas das misturas solo-emulsão, usualmente são utilizados ensaios de compressão simples, compressão diametral e triaxial cíclico, com e sem imersão dos corpos-de-prova. Complementarmente, também tem sido usado o ensaio para a determinação do Índice de Suporte Califórnia.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar os resultados de ensaios de compressão simples, triaxiais cíclicos, Índice de Suporte Califórnia e a variação volumétrica e perda de umidade durante a cura de dois solos lateríticos estabilizados com emulsão asfáltica, para condições sem e após imersão.

Este trabalho complementa o artigo “ESTUDO DA RESISTÊNCIA E DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLOS LATERÍTICOS COM A ADIÇÃO DE EMULSÃO ASFÁLTICA”, publicado por Arancibia & Parreira (2008) no XXII ANPET.

3. MATERIAIS

3.1. Escolha, caracterização, gênese e compactação dos solos

Os solos escolhidos são provenientes de 2 diferentes taludes de rodovias situadas próximas ao Município de São Carlos – SP. O primeiro solo foi coletado de um talude na rodovia SP-300 (km 400), entre as cidades de Pirajuí e Cafelândia; enquanto que o segundo solo foi coletado de um talude abaixo da linha de seixos, junto à rodovia SP-304 (km 384+600), entre as cidades de Borborema e Ibitinga.

Os solos foram classificados como solo laterítico arenoso LA' e solo laterítico argiloso LG', segundo a classificação MCT. Já pela classificação HRB, pertencem aos grupos A-2-6 e A-7-5, e aos grupos SC e ML segundo o sistema Unificado USCS.

3.2. Escolha das emulsões asfálticas

Para a composição das misturas solo-emulsão, foram utilizadas emulsões asfálticas fornecidas pela empresa BETUNEL, filial Ribeirão Preto-SP. O material foi escolhido pela proximidade da fábrica à cidade de São Carlos-SP e pela disponibilidade da fábrica dosar emulsões asfálticas que melhorem a trabalhabilidade e dispersão das misturas com os solos estudados

nesta pesquisa. A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização realizados a cada uma das emulsões estudadas.

Tabela 1: Caracterização das emulsões asfálticas utilizadas neste estudo

Unidades	Ensaio	Resultados				Especificação	
		RR-1C	RM-1C	RL-1C	RL-1C dosada	Mínimo	Máximo
% em peso	Sedimentação	3	2,5	1,6	1,7	-	5
% em peso	Peneiração	0,11	0,10	0,10	0,10	-	0,15
-	Carga de partícula	+	+	+	+	Positiva	
% em peso	Resíduo	60	60	61	62	62	

Para a escolha do tipo de emulsão procedeu-se à mistura de ambos os solos estudados e as emulsões asfálticas comerciais RR-1C, RM-1C e RL-1C, para determinar o tempo de mistura e a dispersão que estas apresentam para os teores de 2, 4, 6 e 8%. A Tabela 1 apresenta a variação dos tempos de mistura com o tipo e teor de emulsão para as misturas compostas com os solos lateríticos arenoso (LA') e argiloso (LG').

Tabela 2: Valores dos tempos de mistura em função do tipo e teor de emulsão

Tipo de Emulsão	Solo	Teor de emulsão (%)	Tempo de Mistura (min)
RR-1C	LA'	2	9
		4	10
		6	14
		8	14
	LG'	2	10
		4	12
		6	16
		8	16
RM-1C	LA'	2	10
		4	10
		6	12
		8	13
	LG'	2	10
		4	13
		6	15
		8	15
RL-1C	LA'	2	5
		4	5
		6	7
		8	10
	LG'	2	7
		4	7
		6	10
		8	12

Analisando-se os resultados obtidos para as emulsões comerciais apresentados na Tabela 2, observa-se que teores crescentes de emulsão conduziram a maiores tempos de mistura. Comparando-se a influência do tipo de solo, observa-se que o solo LA' apresenta menores tempos de mistura que o solo LG'. Verifica-se também que o menor tempo de mistura ocorre para a emulsão RL-1C e que esta proporciona uma menor formação de grumos para todos os teores. Em vista disso, decidiu-se analisar a emulsão do tipo RL-1C comercial e uma emulsão RL-1C dosada especificamente para melhorar ainda mais a dispersão e a trabalhabilidade das misturas.

A Figura 1 ilustra a dispersão da emulsão RL-1C de uso convencional e da emulsão RL dosada para um corpo-de-prova estudado, observando-se a melhora que esta última apresenta no tocante à dispersão da emulsão no solo.



Figura 1: Aspectos dos corpos-de-prova para misturas com emulsões RL-1C de uso convencional e RL-1C dosada

Comparando-se a emulsão RL-1C comercial e a emulsão RL-1C dosada, esta última apresentou um melhor desempenho no tocante à trabalhabilidade e dispersão do betume no solo. Em vista disto, decidiu-se que, no decorrer da pesquisa, a emulsão RL-1C dosada será usada em todos os ensaios laboratoriais.

4. MÉTODO EXPERIMENTAL

Na pesquisa, foram realizados ensaios de compactação na energia equivalente ao Proctor normal, segundo a norma M13-71 (DER-SP 1971), para se determinarem a massa específica aparente seca máxima (ρ_{dmax}) e o teor ótimo de umidade (w_o), correspondente a cada solo *in natura* e as suas correspondentes misturas com os teores de 2, 4, 6 e 8% de emulsão asfáltica. Os resultados destes ensaios foram apresentados pelos autores nos artigos apresentados na 39.^a RAPv e no XXII ANPET, eventos realizados em 2008.

Uma vez determinada a ρ_{dmax} e a w_o , procedeu-se à segunda fase dos experimentos exploratórios, realizando-se ensaios de compressão simples para determinar o efeito da condição de cura pós-compactação na resistência das misturas.

Os resultados e análises desses ensaios são apresentados no artigo publicado por Arancibia & Parreira (2008) no 39.^a RAPv 2008. Conforme relatado no trabalho, decidiu-se que nas etapas subseqüentes, os corpos-de-prova a serem ensaiados serão previamente selados, para condição com e sem imersão em água, pois esta condição conduzia a valores mais elevados de resistência.

Nesta fase foram ensaiados corpos-de-prova compactados a partir de misturas não curadas e curadas previamente à compactação durante 24 horas. Os ensaios de compressão simples foram realizados após 7 dias de cura pós-compactação e para as condições sem imersão e após imersão durante 4 horas em água.

Com o objetivo de avaliar a influência de emulsão asfáltica na variação da resistência mecânica das misturas, foram realizados ensaios de compressão simples e compressão diametral. A análise desses resultados foi apresentada no artigo publicado por Arancibia & Parreira (2008) na 39.^a RAPv 2008.

Foram ainda realizados ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e triaxial cíclico, para tempos de cura de 28 dias, nas condições com e sem imersão em água e, conseqüentemente,

medidas as variações da umidade e do volume dos corpos-de-prova das misturas estudadas.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.2 Estudo da influência da cura prévia à compactação

As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, para os solos argiloso e arenoso e as misturas obtidas a partir dos mesmos, o resultado de ensaios de compressão simples de corpos-de-prova moldados a partir de misturas sem cura e após cura prévia a compactação durante 24 horas, para as condições sem imersão e após imersão em água.

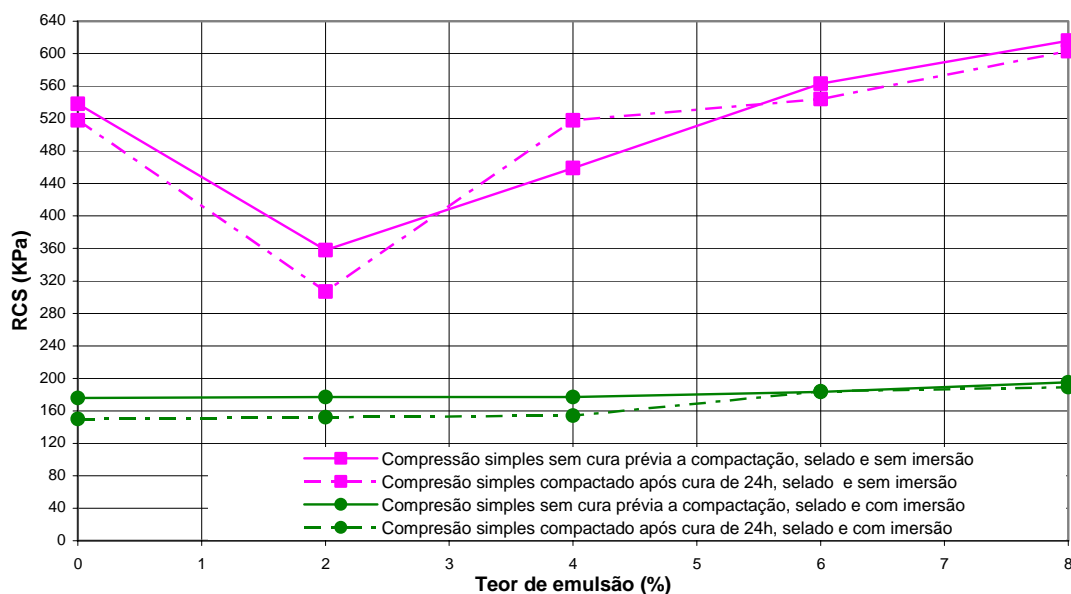


Figura 2: Resistência à compressão simples das misturas com o solo argiloso, sem cura e com 24 horas de cura pré-compactação, para as condições sem imersão e com imersão prévia

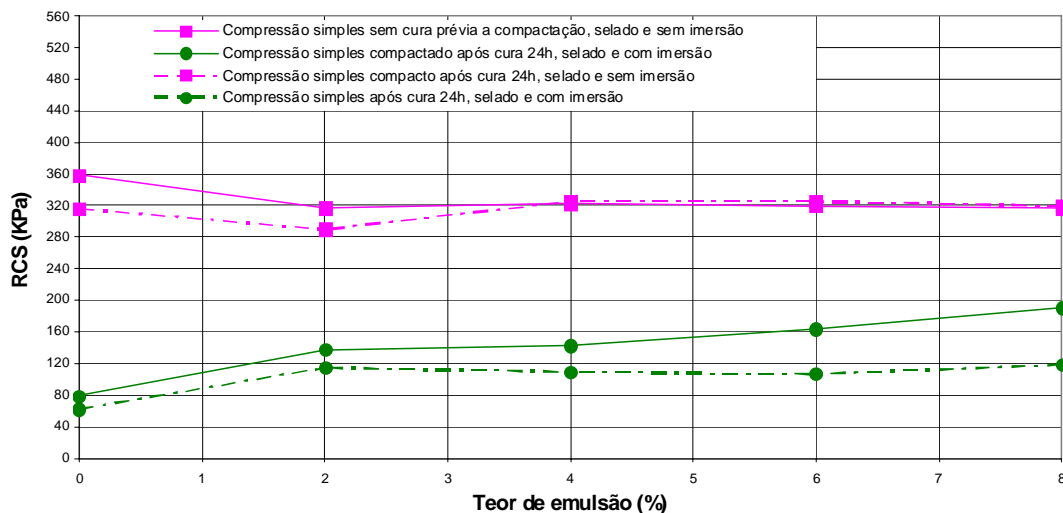


Figura 3 Resistência à compressão simples das misturas com o solo arenoso, sem cura e com 24 horas de cura pré-compactação, para as condições sem imersão e com imersão prévia

Analisando-se as ilustrações das variações da RCS com o teor de emulsão apresentadas nas Figuras 2 e 3, observa-se que para as misturas sem imersão o solo argiloso não apresentou um

padrão definido no tocante ao efeito da cura o não das misturas, prévia a sua compactação. Já para o solo arenoso o efeito das 24 horas de cura pré-compactação, conduz a valores muito próximos aos atingidos pelas misturas não curadas. Entretanto, as misturas sem imersão e curadas por 24 horas em água, tanto do solo argiloso quanto do solo arenoso apresentaram sempre valores inferiores de RCS que as misturas sem cura prévia à compactação.

Com base nestes resultados, decidiu-se que nas etapas subsequentes, os corpos-de-prova a serem ensaiados serão compactados a partir de misturas não submetidas à cura prévia.

5.2. Ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC)

A Tabela 3 e a Figura 6 apresentam os valores de CBR e expansão para as misturas estudadas. Também é apresentada a diferença e o correspondente ganho relativo do CBR com a adição de 2, 4, 6 e 8% de emulsão dosada, calculados com relação ao CBR obtido para os solos *in natura*. A expansão corresponde aos 4 dias de imersão em água.

Tabela 3: Valores de CBR e expansão para os solos e misturas estudadas

Tipo de Solo	Teor de Emulsão (%)	CBR (%)	Diferença (%)	Ganho (%)	Expansão (%)
Arenoso	0	23			0,2
	2	26	3	13	0,1
	4	30	7	30	0,1
	6	33	10	44	0,1
	8	40	17	74	0,1
Argiloso	0	29			0,5
	2	35	6	21	0,3
	4	39	10	35	0,2
	6	41	12	41	0,1
	8	42	13	45	0,1

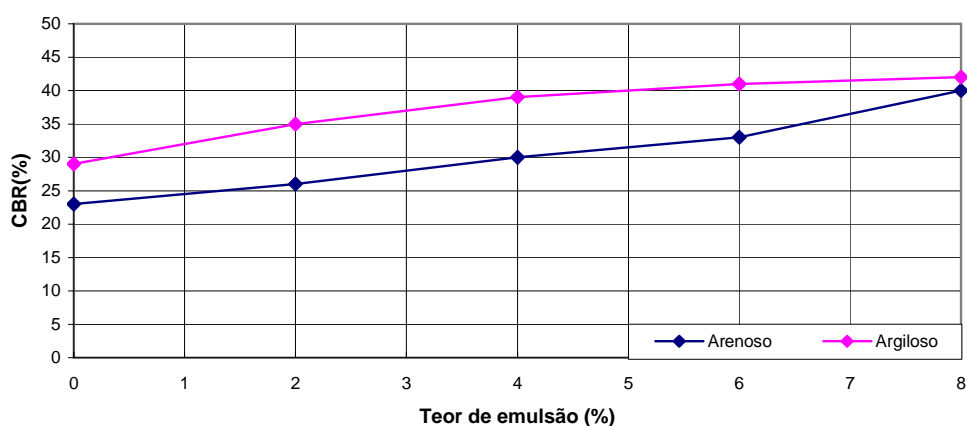


Figura 4: Índice de suporte Califórnia em função do teor de emulsão para misturas de solos arenoso e argiloso

Analisando-se os valores apresentados na Tabela 3 e a Figura 4, observa-se que ambos os solos *in natura* têm o índice de suporte Califórnia aumentado quando é adicionada emulsão, sendo que os maiores valores de CBR acontecem para o teor de 8% de emulsão. Os solos arenoso e argiloso apresentam para 8% de emulsão, respectivamente, ganhos relativos de CBR de 74 e 45% em relação ao CBR do solo não estabilizado.

Comparando-se os solos arenoso e argiloso, observa-se que o valor de CBR para o solo argiloso é 26% maior que o valor observado para o solo arenoso. Para as misturas com 8% de emulsão e solo argiloso, os valores de CBR são 5% maiores que os obtidos para o solo arenoso com este mesmo teor. Destaca-se assim, que o ganho de CBR é mais representativo para o solo arenoso.

Em relação à expansão, a Figura 5 ilustra a sua variação com o teor de emulsão para as diversas misturas constituídas pelos solos arenoso e argiloso.

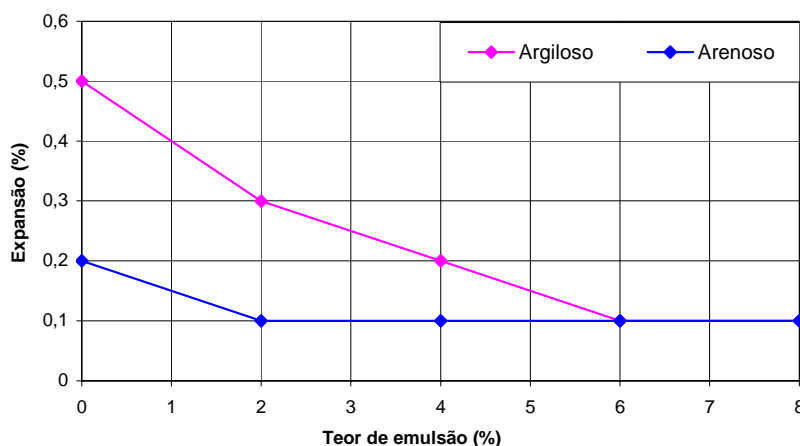


Figura 5: Expansão em função do teor de emulsão para misturas de solo-emulsão para os solos arenoso e argiloso

Analisando-se os valores apresentados na Tabela 3 e a Figura 5, observa-se que ambos os solos têm a expansão diminuída quando é adicionada a emulsão. Esta redução de expansão nos solos argilosos é geralmente atribuída à menor afinidade por água das argilas misturadas com agentes hidrófobos; nesta situação a emulsão asfáltica, atua como impermeabilizante nas partículas de argila. No caso do solo arenoso, a emulsão atua como agente cimentante, contribuindo para a diminuição da expansão volumétrica.

Ainda quanto à expansão, as misturas com o solo argiloso apresentam expansões superiores às do solo arenoso, à exceção dos dois maiores teores de emulsão, para os quais são coincidentes. Destaca-se que o solo argiloso *in natura* apresenta uma expansão de 0,5%, que é o valor máximo permitido na norma do DER-SP para materiais de camadas de bases estabilizadas granulometricamente, já para misturas com emulsão, a expansão se reduz a 0,1% com a adição de 6% de emulsão.

5.3. Ensaios de compressão triaxial cíclico – Influência das tensões aplicadas

Para modelagem da variação do MR com o estado de tensão, foram utilizadas quatro relações, denominadas equações 1, 2, 3 e 4. A regressão destes modelos para solos e misturas estudadas é apresentada na dissertação de Arancibia (2009).

$$MR = K_1 \sigma_d^{K_2} \quad (1)$$

$$MR = K_1 \sigma_c^{K_2} \quad (2)$$

$$MR = K_1 \sigma_d^{K_2} \sigma_c^{K_3} \quad (3)$$

$$MR = K_1 p_a \left(\frac{\theta}{p_a} \right)^{K_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{p_a} + 1 \right)^{K_3} \quad (4)$$

onde: MR: módulo de resiliência (MPa);
 σ_d : tensão desvio (kPa);
 σ_c : tensão confinante (kPa);
 θ : primeiro invariante de tensão (kPa);
 τ_{oct} : tensão cisalhante (kPa);
 p_a : pressão atmosférica (kPa);
 K_1, K_2, K_3 : parâmetros de regressão.

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros de regressão e os coeficientes de determinação R^2 para a relação 3, muito utilizada no país para a representação da variação do MR com o estado de tensão, e que fornecem valores elevados de R^2 .

Tabela 4: Parâmetros de regressão e coeficientes de determinação para a equação 3

	Modelo	Teor	Solo LA'				Solo LG'			
			K_1	K_2	K_3	R^2	K_1	K_2	K_3	R^2
sem imersão	$MR = K_1 \cdot \sigma_c^{K_2} \sigma_d^{K_3}$ (3)	0	110	0,29	-0,05	0,92	422	0,128	-0,19	0,95
		2	1333	0,069	-0,22	0,95	638	0,025	-0,18	0,97
		4	1007	0,028	-0,11	0,95	740	-0,01	-0,19	0,98
		6	1331	0,047	-0,17	0,89	881	-0,03	-0,06	0,91
		8	1489	0,02	-0,11	0,88	1366	-0,02	-0,14	0,95
com imersão	$MR = K_1 \cdot \sigma_c^{K_2} \sigma_d^{K_3}$ (3)	0	-	-	-	-	51	0,532	-0,28	0,91
		2	38	0,521	-0,19	0,99	254	0,233	-0,33	0,95
		4	40	0,64	-0,24	0,97	284	0,21	-0,27	0,91
		6	34	0,581	-0,14	0,98	388	0,11	-0,19	0,96
		8	31	0,62	-0,14	0,97	706	0,019	-0,19	0,92

Analisando-se os valores dos coeficientes de regressão (R^2) e tomando-se estes valores como medida da adaptação dos modelos para representar a variação do módulo de resiliência em função do estado de tensão para ambas as emulsões estudadas, observou-se, de maneira geral, que as expressões 3 e 4 mostram-se as mais satisfatórias para a representação do módulo de resiliência, entretanto, das duas expressões, a 3, denominado modelo composto, apresenta melhor desempenho. Portanto, devido a este fato e a tendência observada no Brasil de se privilegiar esta expressão, as análises seguintes foram efetuadas baseadas nesse modelo.

Analisando-se os solos *in natura*, observa-se que na condição sem imersão, o solo arenoso apresenta valores de K_2 maiores que K_3 , esta situação era esperada, já que os solos arenosos são mais influenciados pela tensão confinante. Já para o solo argiloso, os valores de K_3 são maiores que K_2 , confirmando o comportamento esperado, ou seja, os solos argilosos são mais influenciados pela tensão desvio. Para a condição com imersão, os corpos-de-prova moldados com solo arenoso desintegraram-se quando imersos em água. Para o solo argiloso, observou-se que os valores de K_1 são pequenos e os valores de K_2 e K_3 são elevados, indicando que pequenas variações no estado de tensão podem influenciar muito a variação do módulo de resiliência.

Para as misturas com emulsão na condição sem imersão, observou-se que a adição de emulsão provoca decréscimos dos valores de K_2 para ambos os solos e aumento de K_3 para o solo arenoso, levando a mistura a apresentar um comportamento correspondente ao dos solos finos. Para a condição com imersão, observaram-se para o solo arenoso, valores elevados de K_2 e valores baixos de K_3 , mostrando que o solo arenoso é influenciado principalmente pela tensão confinante. Entretanto para o solo argiloso, observaram-se decréscimos nos valores de K_2 e pouca variação dos valores de K_3 , sendo que os valores de K_2 são menores que K_3 . Este fato confirma que estas misturas são mais influenciadas pela tensão desvio.

Os valores do módulo de resiliência calculados para uma estrutura de pavimento típica de baixo volume de tráfego foram discutidos no artigo apresentado por foram discutidos no artigo apresentado por Arancibia & Parreira (2008) no XXII ANPET.

5.4. Variação volumétrica das misturas

Com o objetivo de se analisar a influência da emulsão asfáltica na variação de volume dos corpos-de-prova decorrente do período de cura, quando têm a sua umidade reduzida e a variação volumétrica decorrente a imersão em água, quando têm sua umidade aumentada, foram tomadas as suas medidas ao final destas duas etapas. A Figura 6 apresenta as variações volumétricas médias para os diversos teores de emulsão calculadas considerando-se todos os períodos de cura.

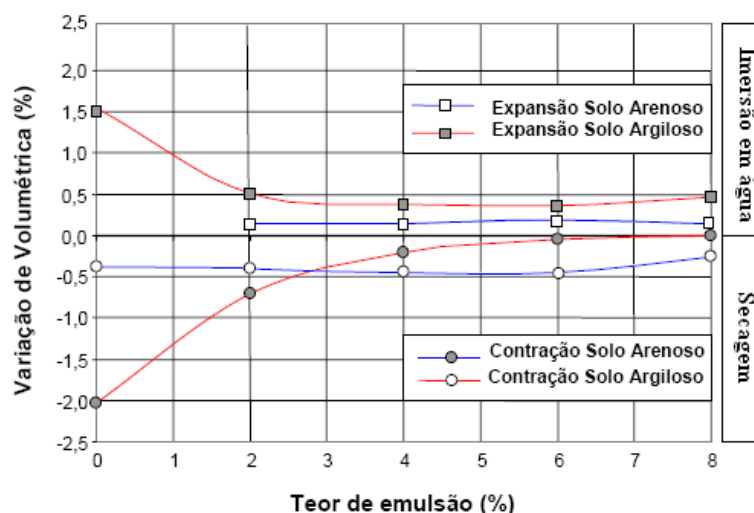


Figura 6: Variação de volume dos corpos-de-prova com o teor de emulsão para tempo de cura variados e corpos-de-prova sem imersão e após imersão em água

A partir da Figura 6, observa-se que durante a cura e após a imersão em água, os corpos-de-prova contraem-se e expandem-se, respectivamente para a primeira e segunda situação.

Analisando-se a contração que ocorre durante a secagem, observa-se que para o solo argiloso *in natura* este processo atua de maneira mais intensa que para o solo arenoso. A adição ou o incremento do teor de emulsão asfáltica provoca uma diminuição marcante da contração das misturas constituídas pelo solo argiloso durante a etapa de cura dos corpos-de-prova, sendo que esta praticamente anula-se a partir do teor de 6%. No tocante ao solo arenoso, a contração é pequena e se mantém constante, independente do teor de emulsão.

Ainda na Figura 6, observa-se para a expansão um comportamento similar ao acontecido na contração, ou seja, o solo argiloso apresenta uma expansão elevada que decresce com a adição

da emulsão, reduzindo-se significativamente e mantendo-se constante a partir do teor de 2%. Para o solo arenoso, a expansão é muito reduzida, mantendo-se constante independente do teor de emulsão.

5.5. Perda de umidade durante o período de cura

Com o objetivo de se analisar a influência da emulsão asfáltica dosada na perda de umidade dos corpos-de-prova decorrente do período de cura, foram tomadas as suas medidas ao final dos tempos de cura de 3, 7, 14 e 28 dias. As Figuras 7 e 8 apresentam a perda de umidade dos solos argiloso e arenoso para os diversos teores de emulsão calculadas considerando-se cada um dos períodos de cura.

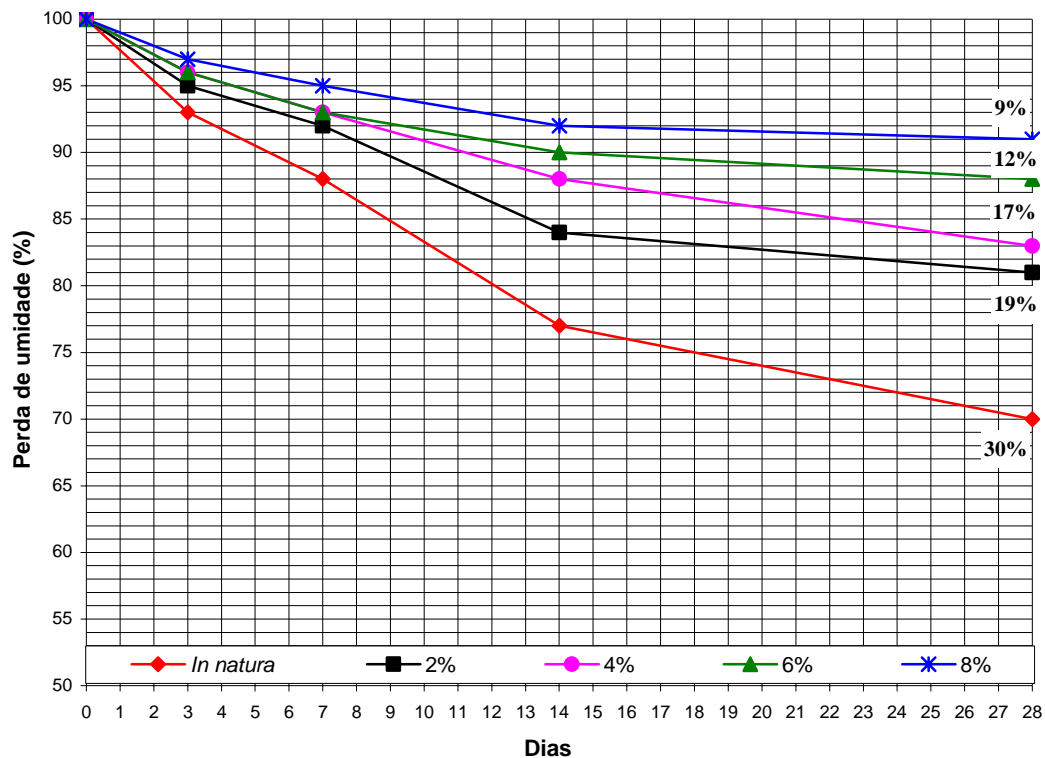


Figura 7: Perda da umidade do solo argiloso *in natura* e das misturas solo-emulsão

Analisando-se a Figura 7 e tomando-se os valores da variação da umidade do solo argiloso, observou-se a evolução da perda de umidade das misturas de solo-emulsão ao longo do tempo de cura. Para o solo *in natura*, as perdas de umidade são elevadas para todos os tempos de cura quando comparados com as misturas com emulsão. Observa-se que para 28 dias, essas perdas são de 30, 19, 17, 12 e 9% da umidade ótima para o solo *in natura* e para 2, 4, 6 e 8% de emulsão, respectivamente.

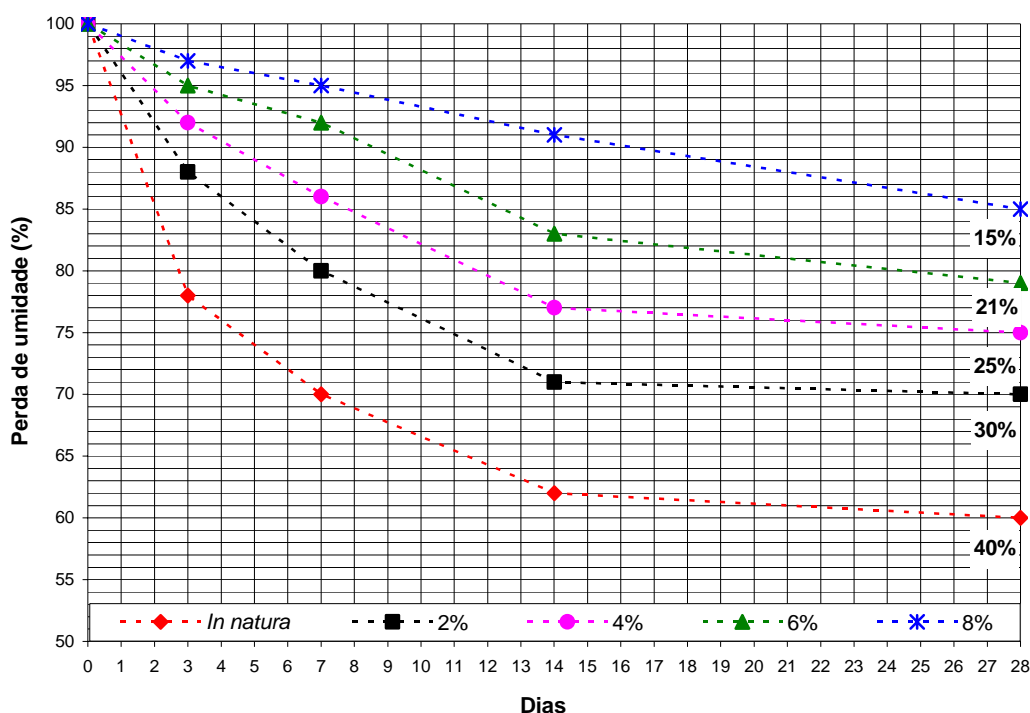


Figura 8: Perda da umidade do solo arenoso *in natura* e das misturas solo-emulsão

Analisando-se a Figura 8 e tomando-se os valores da variação da umidade do solo arenoso, observou-se a evolução da perda de umidade das misturas de solo-emulsão ao longo do tempo de cura. Para o solo *in natura*, as perdas de umidade são elevadas para todos os tempos de cura quando comparados com as misturas com emulsão, mesmo padrão apresentado pelo solo argiloso. Observa-se que para 28 dias, essas perdas são de 15, 21, 25, 30 e 40% da umidade ótima para o solo *in natura* e para 2, 4, 6 e 8% de emulsão, respectivamente.

Comparando-se o efeito da adição de emulsão asfáltica na variação da perda de umidade das misturas constituídas com os solos argiloso e arenoso, observa-se que para o solo arenoso, a perda de umidade é em média 9 pontos percentuais maior que a do solo argiloso.

6. CONCLUSÕES

As conclusões apresentadas na sequência estão restritas ao universo em estudo.

Observou-se que a cura pré-compactação das misturas não favorece o ganho de resistência para ambos os solos.

Nos ensaios de índice de suporte, observa-se ganho de ISC com a adição de emulsão para ambos os solos, confirmando o efeito positivo da emulsão para condições de imersão em água. Destaca-se que as misturas com solo argiloso apresentam melhor desempenho que as misturas com solo arenoso. No tocante à expansão, observou-se o decréscimo destes valores para ambos os solos, sendo o efeito da emulsão mais importante para o solo argiloso.

No tocante à variação volumétrica, o incremento de emulsão influenciou na diminuição da expansão e contração dos corpos-de-prova moldados com misturas de solo argiloso.

Entretanto, as misturas com solo arenoso não apresentaram variações significativas, já que para o solo *in natura* apresentava originalmente valores baixos de expansão e contração.

Na variação de umidade das misturas verificou-se a perda de umidade destes com o aumento dos tempos de cura. Entretanto, a adição e acréscimo de emulsão asfáltica nos solos produzem uma diminuição da perda de umidade. Este efeito é mais significativo para as misturas constituídas com solo argiloso.

Finalmente, conclui-se que as emulsões asfálticas diminuem a susceptibilidade dos solos ante a ação da água, podendo contribuir para a melhoria do comportamento mecânico dos solos usados como material de construção de pavimentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arancibia, S. D. A., Parreira, A. B. (2008) “Estudo de dois solos lateríticos do Estado de São Paulo com a adição de emulsão asfáltica”. In: 39.º Reunião anual de pavimentação, RAPv/13 ° ENACOR, Recife/PE, Setembro.
- Arancibia, S. D. A., Parreira, A. B. (2008) “Estudo da resistência e do módulo de resiliência de solos lateríticos com a adição de emulsão asfáltica”. In: XXII. Congresso de pesquisa e ensino em transportes, ANPET 2008, Fortaleza/CE, Novembro.
- Arancibia, S. D. A., (2009) “Estudo do comportamento mecânico de dois solos lateríticos do Estado de São Paulo com adição de emulsão asfáltica”. São Carlos. 146p. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação é Área de Concentração em Transportes), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidad de São Paulo, 2008.
- Departamento de estradas de rodagem do Estado de São Paulo (1971). *DER/SP M 13 – Ensaio de compactação de solos*. São Paulo.
- Hiwatashi & Ueda (1968) On the soil Stabilizations of Terra Rossa. Memoirs of the Faculty of Engineering, Yamaguchi University, Japón, Vol.19 No.1.
- Kezdi, A. *Stabilized Earth Roads – Developments in Geotechnical Engenering*. Elseviver Company.
- Steven Phillip Moss, “Experimental study for asphalt treated base” (January 1, 2008). ETD Collection for University of Texas, El Paso.
- Texas Department of Transportation (2004). “Standart specifications for constructions and maintenance of highways, streets and bridges” - TxDOT Guidelines.

David Alex Arancibia Suárez (daasob@sc.usp.br)

Alexandre Benetti Parreira (parreira@usp.br)

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. do Trabalhador São Carlense, 400 – São Carlos, SP, Brasil