

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DE DESGASTE PARA MISTURAS SOLO-EMULSÃO

Giuseppe Miceli Junior

11º Batalhão de Engenharia de Construção

José Renato Moreira da Silva de Oliveira

Álvaro Vieira

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes
Instituto Militar de Engenharia

Laura Maria Goretti da Motta

Programa de Engenharia Civil - COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a resistência de solos estabilizados com emulsão asfáltica ao desgaste, para utilização em rodovias de baixo volume de tráfego, e segue uma sequência iniciada com Duque Neto(2004) e Thuller (2005) que utilizaram os ensaios de LWT (Loaded Wheel Test) e WTAT (Wet Track Abrasion Test) para avaliação do desgaste de bases imprimadas e com tratamento superficial. O LWT realmente captou uma melhora de comportamento com a estabilização do solo mais granular analisado, o que já justifica uma maior atenção de futuras pesquisas com este ensaio. Todavia, o LWT e o WTAT são ensaios que necessitam de correlação campo - laboratório para se obter melhores indicações de desempenho.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the emulsion stabilized soils strength, for low traffic roads. It is part of a sequence begun with Duque Neto (2004) e Thuller (2005). They used the LWT (Loaded Wheel Test) and the WTAT (Wet Track Abrasion Test) for evaluation of primed bases. Granular soil used in this work, when stabilized with asphaltic emulsion and LWT-tested, has showed a better strength behavior. Further and careful attention in researches on these tests is needed, principally in shift factors testing in order to obtain better performance indicators.

1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores demandas na pavimentação é a utilização de tecnologias baratas e confiáveis para vias com baixo volume de tráfego. A estabilização com emulsão asfáltica se encaixa nesse perfil, pois os solos assim estabilizados, além de poder ganhar resistência à compressão simples ou aumentar seus módulos de resiliência, também podem adquirir diversas características como resistência à tração e impermeabilidade.

Tal versatilidade permite que o solo estabilizado não seja somente atrativo em sua utilização para bases de pavimentos, mas também como revestimento primário de rodovias de baixo volume de tráfego. Esse ponto de vista é reforçado com a norma ASTM D 4223-99 (2006), que utiliza como critério principal de dosagem do solo emulsão a resistência à tração por compressão diametral, com corpos-de-prova compactados no equipamento Marshall, como se faz normalmente para as misturas asfálticas.

Torna-se assim importante avaliar os solos por parâmetros diferentes, que contemplem melhor a definição de resistir às forças abrasivas do tráfego. Uma alternativa para avaliação da resistência ao desgaste são os ensaios de desgaste LWT e WTAT, originalmente usadas na dosagem de microrrevestimento asfáltico que foram adaptadas para situações diferentes, como o antipó (Duque Neto, 2004) e o tratamento superficial (Thuller, 2005).

2. A ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS COM EMULSÃO ASFÁLTICA

A estabilização com solo-betume ocorre quando a um solo qualquer é acrescentado um ligante asfáltico, conferindo à mistura resultante uma melhora em seu comportamento mecânico e um

efeito impermeabilizante, tornando-a mais resistente tanto a esforços de tráfego quanto a efeitos de variação de umidade.

A principal função do ligante asfáltico é conferir coesão e impermeabilidade aos solos. Em solos granulares, há um aumento da coesão, enquanto nos solos plásticos é visto um aumento da impermeabilização, graças ao efeito do asfalto na proteção das partículas de argila. Teores mais baixos de emulsão levam a um aumento substancial da resistência do solo. Em geral, existe uma resistência máxima obtida com um teor ótimo de emulsão, sendo que maiores valores tendem a prejudicá-la. Para solos arenosos, esse teor é baixo, enquanto para solos coesivos, esse teor é maior, o que serve para justificar em parte a teoria de que a estabilização de solos argilosos e silto-argilosos é anti-econômica (Lucena *et al.*, 1982).

A bibliografia diverge quanto à percentagem máxima passante na #200 que o solo deve ter para se obter uma estabilização satisfatória: 25%, 35% ou até 50%. Há casos em que existe até uma quantidade mínima de finos que o solo deva possuir: 5% ou até 10%. %. A razão pela qual este mínimo é recomendado é porque o fíler tem a função de aumentar a viscosidade das películas de ligante e dar uma coesão residual mínima à matriz de solo. Em relação à plasticidade do solo, ele deve ser pouco plástico, com IP máximo sugerido de 12% ou de 18% (Vogt, 1971; Kezdi, 1979).

3. ENSAIOS DE DESGASTE DE SOLOS

Originalmente, Duque Neto (2004) utilizou este ensaio para se verificar a durabilidade da técnica do antipó com emulsão de xisto em sua dissertação de mestrado. Considera-se que, se a base imprimada possuisse uma boa interação com a emulsão, proporcionando boa resistência ao desgaste, o sucesso da técnica estará garantido visto que a impermeabilização da base estará satisfeita.

Para isto, precisou realizar algumas modificações nos moldes para a confecção do corpo-de-prova, para que enfim fosse comparada a uma base de pavimento. Entretanto, as condições de carregamento, velocidades do equipamento e tipo de superfície de contato foram mantidas conforme os ensaios padronizados pela ABNT (NBR14746 e NBR14841).

Os métodos de ensaios, descritos a seguir, verificam a durabilidade da base imprimada quando a mesma está sujeita à ação do tráfego. Thuller (2005) utilizou a mesma técnica para avaliar a durabilidade do tratamento superficial com a ação do tráfego, o que reforça o potencial destes ensaios para a dosagem de tratamentos asfálticos em rodovias de baixo volume de tráfego.

3.1. LWT (Loaded Wheel Test)

O ensaio LWT está descrito na norma NBR 14841, denominada “determinação de excesso de asfalto e adesão de areia” pela máquina LWT. O ensaio é parte da metodologia de dosagem do microrrevestimento a frio.

O ensaio modificado visa avaliar o efeito da compactação e as características de deformação da camada de solo quando simulada a ação do tráfego. Em relação ao solo-emulsão, o ensaio permite ainda uma avaliação da durabilidade da técnica.

O ensaio consiste basicamente em submeter-se uma porção de solo à ação do movimento de uma roda de borracha sob condições de carga e de número de ciclos fixados, com o intuito de se simular o desempenho em pista. Para o corpo-de-prova do LWT foram confeccionados moldes de 50,0 mm de altura, 50,8 mm de largura e 381,0 mm de comprimento.

O método de ensaio é descrito por Duque Neto (2004) e foi repetido por Thuller (2005) e Miceli Junior (2006). Foi criada também uma avaliação baseada em duas parcelas: uma referindo-se à avaliação visual e outra ao afundamento durante o ensaio. Cada uma das duas parcelas que fazem parte da avaliação pode receber notas de 10, 8, 5 ou 0, e a soma das parcelas resultam num valor que pode variar de 0 até 20, e a cada uma corresponde um conceito que pode ser muito bom, bom, ruim ou péssimo, de acordo com as Figuras 1 e 2.

A apuração dos dados e classificação do ensaio faz-se determinando os afundamentos em cada estágio de aplicação de carga. Traça-se um gráfico afundamento (ordenada) *versus* ciclos (abscissa) para melhor verificação do desempenho. (Duque Neto, 2004)

Atribuições para desempenho no LWT – base imprimada		
Nota	Observações visuais	Afundamento (mm)
10	Sem defeitos, pouco desgaste, ausência de enxadação	< 2,0
8	Poucos defeitos, arrancamento de até 40% da penetração, pequena enxadação, aparecimento de lombadas sem arrancamento de placas	2,0 a 4,0
5	Arrancamento acima de 40% da penetração, arrancamento nas partidas, enxadação, aparecimento de lombadas com arrancamento de placas	4,0 a 6,0
0	Destruição total da penetração	> 6,0

Figura 1: Avaliação de desempenho no LWT –base imprimada (Duque Neto, 2004)

Qualificação do LWT	
Pontuação	Conceito
18 a 20	Muito Bom
15 a 17	Bom
8 a 14	Ruim
0 a 7	Péssimo

Figura 2: Qualificação no ensaio LWT (Duque Neto, 2004)

3.2. WTAT (Wet Track Abrasion Test)

O ensaio WTAT original encontra-se descrito na norma NBR 14746, denominada “determinação de perda por abrasão úmida”. O ensaio é parte integrante da metodologia de dosagem do microrrevestimento a frio e lama asfáltica.

Este ensaio avalia o desgaste do solo quando simulada a ação do tráfego permitindo ainda uma avaliação da durabilidade da técnica de antipó, de tratamento superficial ou solo-emulsão e até mesmo da emulsão empregada.

O ensaio modificado consiste basicamente em submeter-se uma amostra de solo à ação de desgaste gerada por ação de uma mangueira de borracha sob condições de carga e de número de ciclos fixados. O molde do corpo-de-prova para o ensaio WTAT possui 300 mm de diâmetro e 50,0 mm de altura.

O método de ensaio é descrito por Duque Neto (2004) e foi repetido por Thuller (2005) e Miceli Junior (2006). Duque Neto (2004) idealizou uma nota composta por três parcelas para avaliação do desempenho: a primeira referente a uma avaliação qualitativa do corpo-de-prova, a segunda referente ao afundamento que a roda produzia e o terceiro em relação à perda por abrasão do corpo-de-prova. Cada uma das três parcelas que fazem parte da avaliação pode receber notas de 10, 8, 5 ou 0, e a soma das parcelas resultam num valor que pode variar de 0 até 30, e a cada uma corresponde um conceito que pode ser muito bom, bom, ruim ou péssimo, de acordo com as Figuras 3 e 4.

Atribuições para desempenho no WTAT – base imprimada			
Nota	Observações visuais	Perda por Abrasão (%)	Def. vertical (mm)
10	Arrancamento de até 10% e ausência de exudação	< 5	< 0,5
8	Arrancamento de 10 a 20% e pequena exudação	5 a 10	0,5 a 1,0
5	Arrancamento de 20 a 50% e/ou exudação	10 a 20	1,0 a 1,5
0	Arrancamento maior que 50% e/ou exudação	> 20	> 1,5

Figura 3: Avaliação de desempenho no WTAT –base imprimada (Duque Neto, 2004)

Qualificação de WTAT	
Pontuação	Conceito
28 a 30	Muito Bom
23 a 27	Bom
16 a 22	Ruim
0 a 15	Péssimo

Figura 4: Qualificação no ensaio LWT (Duque Neto, 2004)

A apuração dos dados e classificação do ensaio passa pela determinação da deformação permanente vertical a partir da diferença das alturas médias final e inicial e da perda por abrasão a partir da diferença de massas final e inicial.

4. MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

Buscou-se escolher solos do interior do Estado do Rio de Janeiro, em função da proximidade das jazidas com a cidade onde se localiza o IME, e pela importância do uso das estradas vicinais do Estado para o escoamento da produção agrícola.

O solo A foi coletado em uma jazida de saibro explorada pela Prefeitura Municipal de Cachoeiras de Macacu e vem sendo utilizada pela prefeitura para revestimento primário e bases de rodovias vicinais, enquanto o solo B foi coletado na estrada municipal mais conhecida como Estrada da Laje, tratando-se de uma via de baixíssimo volume de tráfego.

Os solos apresentaram a caracterização granulométrica apresentada na Tabela 1; entretanto, somente o Solo A obedece aos requisitos dos solos estabilizáveis com emulsão asfáltica, descritas por Miceli Junior (2006) enquanto o solo B obedece a poucos destes requisitos, pelas suas plasticidade e granulometria.

Tabela 1: Caracterização granulométrica dos solos deste estudo

Solo	Percentagem passante				Classificação			Índices		
	#4	#10	#40	#200	TRB	SUCS	MCT	LL	IP	IG
A	98	95	81	30	A-2-4	SM	NA'	NP	NP	0
B	100	97	64	41	A-7-5	SM	LG'	52	15	3

O Solo A é classificado como A-2-4 na classificação TRB, sendo sua classificação MCT, NA'. O Solo B é classificado como A-7-5. Pela classificação TRB, seu desempenho é ruim em pavimentação; todavia, é um solo de comportamento laterítico: LG' na classificação MCT e por isso é aproveitado em pavimentação, dentro de metodologia própria de execução.

Optou-se por trabalhar com uma emulsão de ruptura lenta (RL-1C) fornecida pelo CENPES/PETROBRAS, de acordo com recomendações de Pinto (1998). Não foi utilizada a emulsão de ruptura média, pois o processo de mistura é prejudicado pela rapidez de ruptura da emulsão no processo.

5. AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Todas as misturas solo-emulsão para confecção dos corpos-de-prova do LWT e WTAT foram executadas de acordo com a sequência descrita em Miceli Junior (2006).

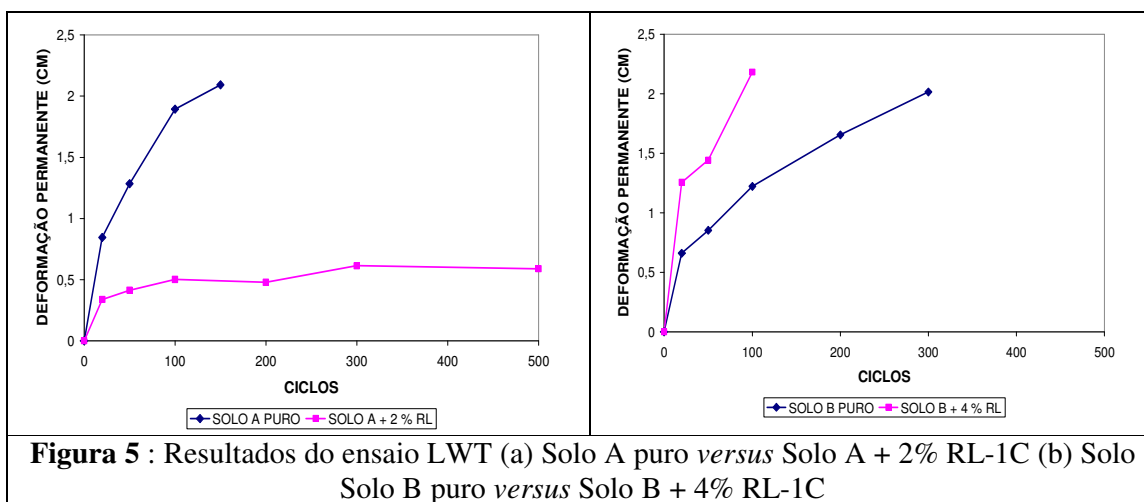
5.1 Resultados do LWT

Os ensaios com o equipamento LWT foram executados no Setor de Preparação de Amostras do Laboratório de Geotecnia da COPPE, e foi seguida a sequência de ensaio descrita em Duque Neto(2004).

Pelo rigor do ensaio e dos requisitos para as notas, o autor do presente trabalho entendeu que a avaliação pudesse ser feita de forma totalmente quantitativa, através da deformação vertical obtida durante o ensaio, ao invés do critério anterior definido por Duque Neto (2004), dependente da avaliação visual.

Este autor também adotou uma condição de parada para o ensaio. Quando a deformação permanente chegava a 2 centímetros, o ensaio era interrompido. Em comparação com a altura da amostra de 5 cm, tal deformação já é grande, perfazendo 40% da altura do corpo-de-prova.

O corpo-de-prova era moldado, compactado, e foi marcado nos seus quatro quartos, e nas divisões entre eles era feita uma medida, totalizando quatro medidas de deformações ao longo. O ensaio era feito com um dia de cura, para assegurar a ruptura completa da emulsão. A Figura 5 (a) apresenta os resultados do LWT para o Solo A e a Figura 5 (b), para o Solo B. Para critérios de comparação, Guimarães (2001) cita que rodovias de alto volume de tráfego admitem afundamentos de trilha de roda (ATR) de 16 milímetros.



De acordo com a classificação de Duque Neto (2004) apresentada, somente o Solo A estabilizado não seria classificado como “péssimo”. O solo A puro chegou à deformação limite com 150 ciclos, enquanto o solo estabilizado chegou uma deformação máxima de 6 milímetros ao fim de 500 ciclos, final do ensaio. Nota-se uma melhoria na condição de desgaste do solo ao se acrescentar emulsão asfáltica, pois se trata de uma deformação que tende a se estabilizar com o aumento dos ciclos. Todavia, essa deformação é aproximadamente 15% da espessura total do corpo-de-prova, o que em campo geraria um afundamento de trilha de roda (ATR) proporcional a espessura da camada. Uma camada de base estabilizada de 10 cm geraria individualmente um ATR de 15 mm, admissível pelos padrões usuais.

Por outro lado, se for considerado que 60% da deformação encontrada no LWT foi devido aos 50 primeiros ciclos e que a deformação total tende a se tornar estável, pode-se perceber uma utilização promissora do solo-emulsão em revestimento primário.

Ao contrário do Solo A, o Solo B puro chegou ao limite com 300 ciclos e o Solo B estabilizado, a um terço desse valor, o que mostra o efeito negativo da adição de emulsão a um solo plástico. Essa piora nas condições do corpo-de-prova está coerente com o que também foi encontrado por Miceli Junior (2006) em ensaio de condicionamento do ensaio de módulo: o solo fica demasiadamente plástico fazendo com que altas deformações permanentes surjam no solo, gerando defeitos como o ATR.

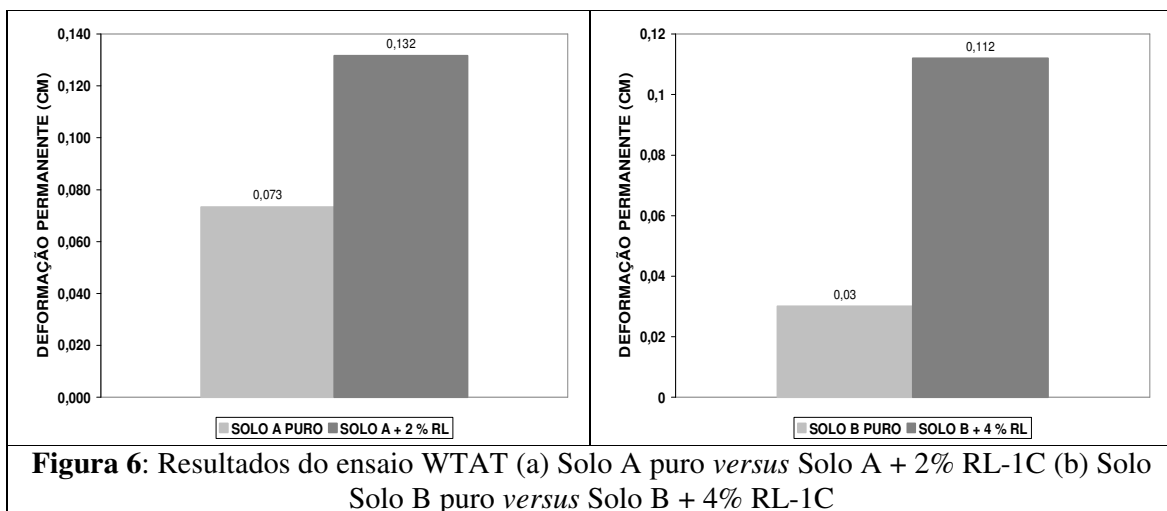
A metodologia de previsão da deformação permanente por este ensaio é recente e ainda são necessários maiores estudos para que conclusões mais precisas sejam obtidas. Talvez sejam necessárias correlações com o ensaio de deformação permanente com o equipamento triaxial dinâmico, ou o uso de fatores laboratório-campo para a melhor utilização destes resultados.

5.2 Resultados do WTAT

Os ensaios com o equipamento WTAT foram executados no Setor de Preparação de Amostras do Laboratório de Geotecnia da COPPE, e foi seguida a sequência de ensaio descrita por Duque Neto (2004).

Foram executadas quatro medidas espalhadas pelo centro do corpo-de-prova que teve contato com a borracha abrasiva, feitas em milímetros com a ajuda de paquímetro. Para o solo A, a Figura 6(a) mostra a deformação do corpo-de-prova, enquanto a Figura 6 (b) mostra para o solo B.

Na avaliação proposta por Duque Neto (2004), os quatro ensaios são classificados como “muito bom”. Como no LWT, pelo rigor do ensaio e dos requisitos necessários para as notas, o autor este trabalho entendeu que a avaliação para este ensaio não é adequada, e também deveria ser feita de uma forma totalmente quantitativa, através da deformação vertical obtida durante ao ensaio e da perda por abrasão do corpo-de-prova.



Foi verificado que os solos apresentaram uma deformação maior com o acréscimo de emulsão asfáltica, mas com uma ordem de grandeza pequena (cerca de 1 milímetro), o que é compatível e aceitável em se tratando de esforços de abrasão, como é o caso do WTAT. Para o Solo B, a superfície que sofreu o esforço abrasivo se tornou lisa e espelhada, e com a coesão

do solo estabilizado, houve apenas 0,18% de perda de peso do corpo-de-prova, surtindo um menor desprendimento de solo, como verificado na Tabela 5.

6. CONCLUSÕES

Os ensaios de LWT e WTAT apresentaram um bom resultado, especialmente o Solo A, que mostrou uma melhoria com a estabilização com emulsão asfáltica. O Solo A estabilizado, ao ser ensaiado ao desgaste no equipamento LWT modificado, apresentou uma melhoria em relação ao solo puro, com menores deformações permanentes, ao contrário do Solo B estabilizado, que não apresentou um bom resultado.

A estabilização dos solos A e B não melhorou a resistência à abrasão pelo WTAT quanto à deformação permanente, em relação ao solo puro. Todavia, os valores encontrados de qualquer forma foram muito baixos. O solo B estabilizado apresentou uma perda de massa menor que o solo B puro, em parte devido ao espelhamento já visto no corpo-de-prova.

O fato de somente o LWT ter realmente captado uma melhora de comportamento com a estabilização de um solo já justifica uma maior atenção de futuras pesquisas com este ensaio. São ensaios ainda usados como comparativo entre solos que necessitam de correlação campo - laboratório para se obter melhores indicações de desempenho e que podem no futuro se tornar critério de dosagem tanto para solo-emulsão, como para antipó (como proposto por Duque Neto, 2004) e para tratamento superficial (como ensaiado por Thuller, 2005).

BIBLIOGRAFIA

- ASTM D 4223-99(2006) *Standard Practice for Preparation of Test Specimens of Asphalt-Stabilized Soils*, Estados Unidos.
- Duque Neto, F.S. (2004) *Proposição de metodologia para a escolha de solo e dosagem de antipó com emulsão de xisto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- Lucena, F.B, Ferreira, H.C e Araújo, R.N.A (1982) *Uso de emulsão catiônica na estabilização de solos lateríticos*. In: *Anais da 17ª Reunião Anual De Pavimentação*, ABPv, Curitiba, PR.
- Miceli Junior, G. (2006) *Comportamento de solos do Estado do Rio de Janeiro estabilizados com emulsão asfáltica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), IME, Rio de Janeiro, RJ.
- Pinto, S (1998) *Materiais betuminosos – Conceituação, especificação e utilização*. Apostila do Curso de Engenharia de Fortificação e Construção. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1998.
- Thuller, R.B (2005) *Estudo de solos do Estado do Rio de Janeiro para aplicação em baixo volume de tráfego*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Yoder, E. J e Witczak, M. W (1975) *Principles of Pavement Design* 2ª edição, John Wiley & Sons, Inc , New York, Estados Unidos.
- Vogt, J. C. (1971), *Estabilização Betuminosa*. 7º Simpósio sobre Pesquisas Rodoviárias. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, DNER, Rio de Janeiro.

Giuseppe Miceli Junior (gmiceljr@uol.com.br)

José Renato Moreira da Silva de Oliveira (jrms@terra.com.br)

Laura Maria Goretti da Motta (laura@coc.ufrrj.br)

Álvaro Vieira (alvaro@ime.eb.br)