

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO NOS ASPECTOS RESISTÊNCIA MARSHALL E À FADIGA DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS USINADAS A FRIO

Josué Alves Roso¹

Prof. Mestre da Faculdade de Tecnologia de São Paulo¹

jaroso@fatecsp.br

Resumo

Esta pesquisa comparou o comportamento mecânico de resistência Marshall e de resistência à fadiga de misturas asfálticas com formulações usuais com índice de vazios entre três e cinco por cento, e também com misturas apresentando quinze por cento de índice de vazios, de forma a simular uma condição típica observada na execução de reparos superficiais em vias urbanas.

As comparações entre os resultados de ensaios possibilitaram melhor conhecimento do comportamento mecânico das misturas estudadas segundo os parâmetros sugeridos, permitindo a indicação dessas misturas, ou seja, as misturas densas usinadas a frio para aplicação em reparos de pavimentos, restaurações e pavimentos novos.

1. Introdução

1.1 Considerações iniciais

O desempenho dos pavimentos rodoviários, aeroportuários e urbanos é bastante influenciado pela estrutura adotada em projeto, pelo tipo de revestimento, e também pelas decisões tomadas em momentos oportunos na conservação destes pavimentos.

A caracterização mais adequada dos materiais utilizados e uma gama maior de opções para tomada de decisões, tanto na fase de projeto como no momento de intervir na conservação, possibilitam além da qualidade técnica esperada, um menor aporte de capital, na construção ou na conservação dos pavimentos.

Nas regiões em que existe a necessidade da implantação de uma estrutura flexível, mas que esbarra em dificuldades econômicas, operacionais e ambientais para utilização e usinagem do concreto asfáltico usinado a quente tais como aeródromos, acessos para bases da aeronáutica, regiões onde a instalação de usinas a quente é inviável, pavimentos urbanos e até em rodovias, a utilização de misturas asfálticas usinadas a frio pode apresentar-se como alternativa técnica, econômica e ambiental para os casos citados. Destaca-se, portanto, que conhecer melhor as propriedades das misturas a frio contribuirá não só para o desenvolvimento científico, mas também para uma aplicação mais adequada deste material e para tomadas de decisões de engenharia mais bem direcionadas.

Considerando que a escolha do revestimento asfáltico em uma estrutura de pavimento novo ou para projetos de restauração baseia-se em parâmetros não só técnicos e econômicos, mas também são influenciados e modificados em função de fatores ambientais, a utilização das misturas asfálticas a frio torna-se uma opção atraente.

1.2 Objetivo

O objetivo dessa pesquisa é quantificar a resistência Marshall e a resistência ao trincamento por fadiga de misturas asfálticas usinadas a frio.

O trabalho propõe testar experimentalmente em laboratório algumas propriedades mecânicas das misturas asfálticas a frio, medidas através do ensaio Marshall e do ensaio de resistência à fadiga, realizadas com dois tipos de emulsões (convencional e modificada com polímero) e duas granulometrias distintas.

A utilização de granulometrias distintas tem por objetivo comparar os resultados entre elas e identificar se as misturas asfálticas a frio mais fechadas apresentam melhor desempenho que as misturas mais abertas.

Dois tipos de misturas a quente serão ensaiados a fim de servirem como referência para as análises dos resultados, uma de forma convencional, e a outra compactada para obter alto índice de vazios. Essas misturas também terão o objetivo de permitir a observação de algumas características das misturas asfálticas deficientemente compactadas nos trabalhos de campo.

Através da comparação dos resultados obtidos buscar-se-á relacionar o desempenho das características mecânicas entre as misturas usinadas a frio e as misturas a quente para identificar a aplicação adequada do material.

1.3 Contexto técnico científico

Desde a década de 70, com o advento das emulsões asfálticas, novas alternativas de uso de misturas a frio têm se desenvolvido. O uso de emulsões oferece vantagens, pois não apresenta emissões atmosféricas poluentes, utiliza menos energia (o uso de calor não é necessário) e oferecem estabilidade à estocagem, conforme Holleran e Reed [1].

Segundo Batista [2], existe ainda uma lacuna de conhecimento sobre ligantes a frio (emulsões asfálticas) e das misturas frias no que concerne à formulação do ligante, ao procedimento de dosagem da mistura, à correta aplicação em obra, seu controle de qualidade, alguns

conhecimentos relativos ao processo de cura das misturas a frio, e principalmente quanto ao desempenho e ao comportamento mecânico destas misturas.

Segundo DNER-ES 317/1997 [3], o pré-misturado a frio (PMF), é uma mistura executada à temperatura ambiente em usina apropriada, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (filer) e emulsão asfáltica, espalhada e comprimida a frio, podendo ser empregado como revestimento, base, regularização ou reforço de pavimento.

Segundo Potti *et al.* [4], a qualidade do revestimento, assim como a densidade e as propriedades mecânicas finais desejadas depende do comportamento de ruptura da emulsão. Portanto, o elemento essencial para misturas a frio reside na escolha de uma emulsão apropriada com a reatividade do agregado selecionado.

2. Ensaio realizados

2.1 Aspectos gerais

O estudo do comportamento à fadiga foi realizado para as misturas classificadas como densas, misturas onde o mastique asfáltico é o componente responsável por suportar as tensões de tração promovidas no interior da mistura asfáltica. A aplicação deste estudo em misturas abertas fica comprometida na medida em que a tensão de confinamento do corpo de prova se torna variável relevante no processo, e há dificuldades de simular em laboratório o confinamento que existe no campo. Sendo assim, as faixas granulométricas definidas para o projeto de mistura a frio deste trabalho foram escolhidas a fim de proporcionar misturas consideradas densas.

2.2 Materiais utilizados

2.2.1 Agregados

Os materiais granulares utilizados para o trabalho são agregados provenientes de britagem de rocha graduados de modo a atenderem duas especificações granulométricas, para propiciar as misturas desejadas:

A estabilização granulométrica dos agregados foi definida por porcentagens de misturas de agregados, que combinados resultam em uma curva inserida na faixa de trabalho definida para as faixas C da DNER-ES 385/99 [05] e C da DNER-ES 390/99 [06].

2.2.2 Material asfáltico

As Emulsões asfálticas utilizadas como ligante foram fornecidas pela Betunel, sendo, emulsão convencional RL-1C e a emulsão modificada com polímero RL-C flex.

2.3 Misturas utilizadas

Nesta etapa do trabalho definiu-se o traço das misturas, o teor de emulsão asfáltica na mistura e, conseqüentemente, o teor de cimento asfáltico residual na mistura processada a frio.

Foram confeccionados os corpos-de-prova para ensaio Marshall em duas faixas de trabalho distintas, conforme tabelas I e II, empregando emulsões de ruptura lenta convencional e modificada com polímero.

Para as misturas a quente moldou-se corpos de prova com dois procedimentos distintos atendendo a faixa granulométrica DNER-ES 385/99, sendo um de forma convencional buscando atingir os parâmetros especificados, ao passo que outra moldagem buscou corpos de prova para misturas quentes com volume de vazios próximo de 15%, para simular camadas mal compactadas.

Tabela I – Granulometria dos materiais e faixa 390/99.

PENEIRAS mm	ABNT	GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS					FAIXA C DNER 390/99	FAIXA TRABALHO
		A	B	C	D	MISTURA		
19,000	3/4"	98,4				99,4	95 100	95 100
12,500	1/2"	30,0				72		95 99
9,500	3/8"	10,4	100,0	100,0		64,0	40 70	57 70
4,750	4	1,0	32,2	99,3		30,0	20 40	25 35
2,000	10	0,9	12,3	70,0		17,3	10 25	12 22
0,420	40	0,8	3,1	37,4	100,0	8,3		5 13
0,180	80	0,7	1,7	25,0	98,0	5,7		3 9
0,075	200	0,4	1,6	14,6	95,0	4,0	0 8	2 6

Tabela II – Granulometria dos materiais e faixa C 385/99.

PENEIRAS mm	ABNT	GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS					FAIXA C DNER 385/99	FAIXA TRABALHO
		A	B	C	D	MISTURA		
19,000	3/4"	98,4				99,4	100 100	100 100
12,500	1/2"	30,0				96,5	85 100	90 100
9,500	3/8"	10,4	100,0	100,0		95,5	75 100	89 100
4,750	4	1,0	32,2	99,3		61,5	50 85	57 67
2,000	10	0,9	12,3	70,0		38,6	30 75	34 44
0,420	40	0,8	3,1	37,4	100,0	19,4	15 40	15 24
0,180	80	0,7	1,7	25,0	98,0	13,1	8 30	10 16
0,075	200	0,4	1,6	14,6	95,0	8,3	0 8	6 10

A tabela III demonstra os corpos-de-prova que foram confeccionados para os ensaios

Tabela III – Corpos-de-prova moldados para os ensaios.

AMOSTRA	MISTURA	
	MATERIAL ASFÁLTICO	FAIXA GRANULOMÉTRICA UTILIZADA
1	RL-1C CONVENCIOANAL	DNER 385/99
2	RL-1C CONVENCIOANAL	DNER 390/99
3	RL - C MODIFICADA FLEX	DNER 385/99
4	RL - C MODIFICADA FLEX	DNER 385/99
5	Concreto Asfáltico de Petróleo	DNER 043/95
6	Concreto Asfáltico de Petróleo	DNER 043/95

2.3.1 Dosagem das misturas

Utilizou-se o ensaio Marshall - DNER-ME 107/94 [07] – Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica. Empregou-se o tempo de cura sugerido nessa norma para todas as misturas independentemente de tipo de emulsão ou de granulometria. Este procedimento foi adotado porque não há outras indicações normalizadas para tempos de cura distintos na compactação dos corpos de prova.

3. Resultados dos ensaios

3.1 Resultados do projeto de mistura

A Tabela IV demonstra os resultados do ensaio Marshall para todas as misturas utilizadas no trabalho e a Figura 1 demonstra o histograma comparativo dos resultados Marshall.

Tabela IV – Estabilidade Marshall.

AMOSTRA	MISTURA	ESTABILIDADE MARSHALL (Kgf)
1	RL-1C CONVENCIOANAL 385/99	472
2	RL-1C CONVENCIOANAL 390/99	696
3	RL - C MODIFICADA FLEX 385/99	784
4	RL - C MODIFICADA FLEX 390/99	884
5	CBUQ 1	779
6	CBUQ 2	1043

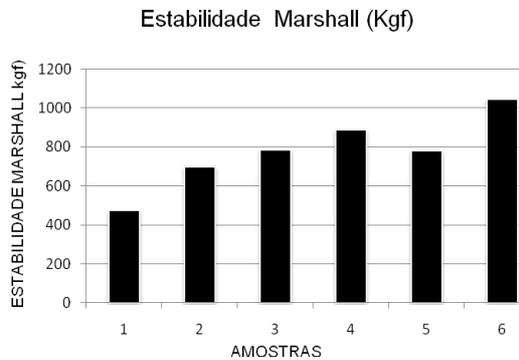


Figura 1 – Resultados da estabilidade Marshall.

3.2 Corpos-de-Prova para o ensaio de fadiga

Segundo Rodrigues [08], a análise do comportamento à fadiga é realizada através de ensaio em corpos-de-prova Marshall rompidos a compressão diametral em três velocidades distintas, sendo três corpos-de-prova para cada velocidade. Através de um LVDT (Linear Variable Differential Transformer) as informações sobre o histórico do carregamento do corpo-de-prova são transmitidas para um banco de dados a fim de alimentar o “software” FADIGA,

3.3 Resultados obtidos pelo programa

Os resultados dos corpos-de-prova foram gerados pelo programa FADIGA e estão representados nas Figuras 2, 3 e 4, demonstrando respectivamente a resistência à fadiga, o módulo de resiliência e a resistência à tração de cada um dos corpos de prova ensaiados.

Resistência a Fadiga Nf

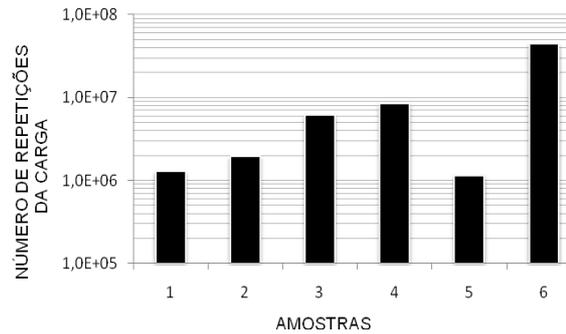


Figura 2 – Resistência à fadiga das amostras ensaiadas.

Módulo de Resiliência MR (MN/m²)

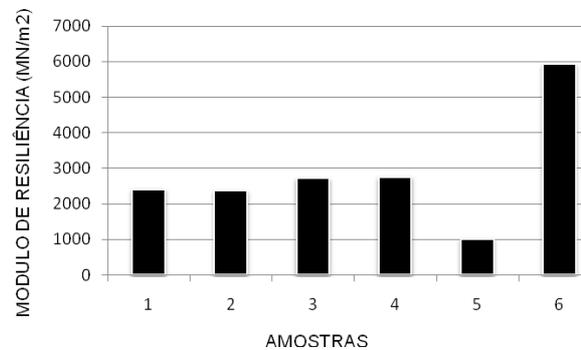


Figura 3 – Módulo de resiliência das amostras ensaiadas.

Resistência a tração RT (MN/m²)

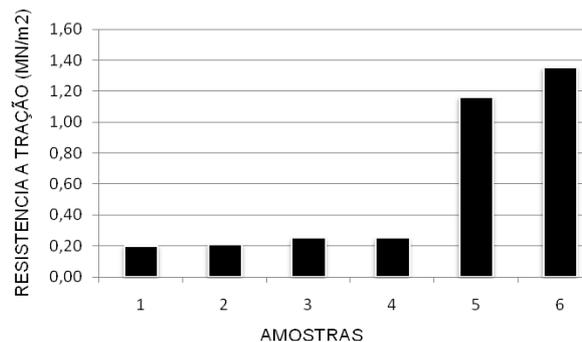


Figura 4 – Resistência à tração dos corpos-de-prova ensaiados.

4. Análise dos Resultados

Os resultados dos ensaios Marshall para os PMFs com emulsões asfálticas modificadas com polímeros, apresentaram valores maiores para a estabilidade que os especificados em normas do DNER para misturas a quente, tanto para a granulometria 385/99 [05], como para a 390/99 [06].

Os resultados obtidos pelo programa FADIGA possibilitaram análises quanto a resistência à tração,

módulo de resiliência e principalmente a resistência à fadiga, a Tabela VI demonstra seis comparações entre a vida de fadiga das misturas investigadas.

A comparação um demonstra que a vida de fadiga entre o pré-misturado a frio usinado com emulsão convencional apresenta quase o dobro de vida que o CBUQ 1 com 15% de vazios, enquanto a comparação dois mostra que a mistura a frio com emulsão modificada apresenta vida de fadiga aproximadamente sete vezes maior que o CBUQ 1, e a comparação três mostra que o CBUQ 2 (convencional 5% de vazios) tem vida de fadiga trinta e oito vezes maior que o CBUQ 1.

A comparação quatro realizada entre as misturas a frio, usinadas com os dois tipos de emulsões utilizadas mostra que as emulsões modificadas apresentam misturas com vida de fadiga quatro vezes maior que as misturas com emulsões convencionais.

As comparações cinco e seis que relacionam as misturas a frio e o CBUQ 2 (convencional com 5% de vazios), mostram que o CBUQ 2 tem vida de fadiga vinte e duas vezes maior que as misturas a frio com emulsões convencionais e cinco vezes maior que as misturas a frio com emulsões modificadas.

As comparações um, dois e três indicam que a utilização de misturas a frio em reparos superficiais apresentam melhor desempenho que as misturas a quente com deficiência na compactação.

A comparação quatro mostra que havendo viabilidade econômica a utilização das emulsões modificadas são mais indicadas do que as emulsões convencionais para estes serviços.

Os resultados das comparações cinco e seis somados ao resultado de estabilidade Marshall sugerem a utilização das massas asfálticas a frio em projetos de pavimentos novos e projetos de restaurações, para pavimentos de até médio volume de tráfego, fazendo-se necessário compatibilizar os módulos nas camadas, pois as resistências à tração das misturas a frio apresentaram-se baixas.

A resistência à tração menor nas misturas a frio que nas misturas a quente deve-se ao modo de como a película de asfalto é formada. A viscosidade do asfalto para usinar as misturas a frio é maior que nas misturas a quente, pois o aquecimento do asfalto reduz a viscosidade do mesmo proporcionando um melhor envolvimento das partículas dos agregados, o que não ocorre nas misturas a frio, pois são usinadas na temperatura ambiente, onde o asfalto apresenta viscosidade elevada.

Inicialmente esperava-se que as misturas a frio realizadas com a granulometria 385/99 [05] apresentassem resultados mais favoráveis que as realizadas com a granulometria 390/99 [06], tanto para estabilidade Marshall, resistência à tração como para a resistência a fadiga, entretanto os resultados obtidos foram favoráveis à mistura com menor volume de finos. Atribui-se à água os resultados encontrados no ensaio, pois os corpos-de-prova foram confeccionados, compactados e rompidos com o mesmo tempo de cura.

Os corpos-de-prova com maior quantidade de finos necessitaram maior quantidade de água para a mistura, portanto, deduziu-se que estes CPs deveriam ter maior tempo de cura para apresentarem resultados mais favoráveis.

O tempo de cura pode ter sido um dos fatores que influenciou nos resultados, sugerindo que misturas mais densas podem necessitar maior tempo de cura para compactação, portanto, o processo de compactação das misturas asfálticas a frio precisa ser melhor investigado para encontrar respostas para esta indagação e consequentemente resultados mais favoráveis para misturas ainda mais densas que as verificadas neste trabalho.

Independente das granulometrias, as misturas com emulsões modificadas apresentaram melhores resultados nos parâmetros estabilidade Marshall e resistência à fadiga que as misturas realizadas com emulsões convencionais, e as misturas a frio com emulsões convencionais apresentaram resultados melhores nos mesmos parâmetros que as misturas a quente com alto volume de vazios.

Tabela V – Comparação entre a vida de fadiga de misturas asfálticas a quente e a frio.

COMPARAÇÕES	MISTURAS	RESISTÊNCIA FADIGA	RELAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS A FADIGA
1	CBUQ 1 (15% vazios) RL-1C CONVENCIONAL 390/99	1,15E+06 1,95E+06	1,70
2	CBUQ 1 (15% vazios) RL - C FLEX 390/99	1,15E+06 8,49E+06	7,38
3	CBUQ 1 (15% vazios) CBUQ 2 (tradicional)	1,15E+06 4,44E+07	38,61
4	RL-1C CONVENCIONAL 390/99 RL - C FLEX 390/99	1,95E+06 8,49E+06	4,35
5	RL-1C CONVENCIONAL 390/99 CBUQ 2 (tradicional)	1,95E+06 4,44E+07	22,77
6	RL - C FLEX 390/99 CBUQ 2 (tradicional)	8,49E+06 4,44E+07	5,23

5. Conclusões

Conclui-se que os reparos superficiais de pavimentos poderão ser executados com misturas usinadas a frio, pois, os resultados de trincamento por fadiga apresentou melhor desempenho para as misturas a frio que as misturas usinadas a quente com alto volume de vazios, que é a condição na reposição de pavimento.

Conclui-se que pelos resultados obtidos de resistência à fadiga, estabilidade Marshall, módulo de resiliência e resistência à tração, as misturas frias com emulsões modificadas podem ser utilizadas em projetos de pavimentos novos e em restauração de pavimentos, em estradas de até médio volume de tráfego.

Faz-se necessário conhecer melhor as grandezas que envolvem as misturas a frio, pois são muitas as variáveis ainda desconhecidas nestas misturas, e uma delas verificada neste estudo é a influência da cura na compactação das misturas asfálticas densas usinadas a frio.

Referências Bibliográficas

- [1] HOLLERAN, G.; REED, J. R. Emulsification of asphalt rubber blends. In: ASPHALT RUBBER, 2000, Cidade do Porto. Proceedings... Cidade do Porto: Universidade do Porto, 2000. p.309 - 318.
- [2] BATISTA, Fátima Alessandra Barata. Novas técnicas de reabilitação de pavimentos. 2004. 463f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Cidade do Porto.
- [3] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER 317/97 – ES: Pavimentação: pré-misturados a frio. Rio de Janeiro. 1997. 14 p.
- [4] POTTI, J. J.; LESUEUR, D.; ECKMANN, B. In direction of a cold asphalt mixes method: a optel contribution. European Roads Review, Special Issue, n. 805, p. 38-47, April 2002.
- [5] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER 385/99 –ES: Concreto asfáltico com asfalto polímero. Rio de Janeiro. 1999. 15 p.
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER 390/99 – ES: pré-misturado a frio com emulsão modificada com polímero. Rio de Janeiro, 1999. 14 p.
- [7] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER 107/94 ME: Mistura betuminosa a frio com emulsão asfáltica – ensaio Marshall. Rio de Janeiro. 1994, 14 p.
- [8] RODRIGUES, R. M.: A model for fatigue cracking prediction of asphalt pavement based on mixture bonding energy. International Journal on Pavement Engineering, v. 2, p.133-149, 2000.