

COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A FRIO COM DIFERENTES TEORES DE FRESADO INCORPORADO

Heberton Souto Moreira

Jorge Barbosa Soares

Laboratório de Mecânica dos Pavimentos
Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

Laura Maria Goretti da Motta

Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

A fresagem de revestimento consiste na remoção da camada asfáltica antiga e é o primeiro passo para reciclá-lo. Com esta etapa realizada, o próximo passo para a reciclagem é a dosagem da mistura reciclada, esta incluindo novos materiais e o material fresado. Na presente pesquisa utiliza-se uma adaptação do Método Marshall para misturas recicladas a frio. Foram considerados 3 teores diferentes de fresado, sendo determinadas então as características mecânicas das misturas recicladas. O comportamento em laboratório demonstrou o efeito negativo do aumento do teor de material fresado na mistura reciclada, embora misturas com baixos teores deste material tenham apresentado comportamento aceitável.

ABSTRACT

Pavement surface removal is the first step in the pavement recycling process. The next step is the design of the recycled mixture, which includes new material as well as reclaimed asphalt pavement (RAP). In the present study an adaptation of the Marshall procedure for cold recycled mixtures is investigated. Three different RAP contents were considered. The mechanical properties of the recycled mixtures were then determined. The laboratorial behavior has shown the negative effect of increasing the RAP content on the recycled mixture. Mixtures with low RAP contents have presented acceptable behavior.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a infra-estrutura rodoviária teve um crescimento entre os anos 1955 a 1980 de 12% anuais, devido aos recursos do Fundo Rodoviário Nacional (FDR) criado pela Lei Joppert. Nos últimos 25 anos como o investimento tornou-se escasso, houve falta de manutenção adequada e o volume de tráfego cresceu de forma exponencial, as vias brasileiras caminham rumo ao colapso (MAGALHÃES, 1988 *apud* LASTRAN, 1998). A Pesquisa Rodoviária de 2004 da Confederação Nacional de Transporte (CNT) considerou 56% dos pavimentos como de má qualidade ao rolamento, incluindo-se trechos concessionados. A CNT estima ainda que seriam necessários R\$ 1 bilhão, por ano, para manter as rodovias, e R\$ 10 bilhões para recuperação de toda a malha viária (CNT, 2004).

O tráfego comercial e a ação do sol e da chuva são os principais responsáveis pela deterioração do pavimento asfáltico, o que representa, além de um desconforto, perigo para o usuário da rodovia. Para a recuperação da malha rodoviária existem diversas alternativas possíveis, cabendo ao tomador de decisão escolher aquela mais viável técnica e economicamente. As alternativas tradicionais de recuperação devem contemplar as questões de durabilidade e conforto ao usuário. Recapeamentos sucessivos elevam o perfil do pavimento, alterando o greide inicial, interferindo na drenagem superficial e sobrecarregando viadutos e pontes. A operação “tapa-buracos” é uma solução emergencial, de durabilidade reduzida. Dentre as alternativas possíveis encontra-se a reciclagem de pavimentos. Trata-se de uma técnica de restauração do pavimento com

reaproveitamento total ou parcial da camada existente de forma a construir uma nova camada com características iguais às de um material novo. Contrastando com a reciclagem de outros materiais, que necessitam de coleta e preparo acurados, o processo para pavimentos se mostra simples e de eficácia comprovada.

A reutilização de material fresado, que por muitos anos foi relegado a depósito em aterros, surge como alternativa viável para utilização em vias de baixo volume de tráfego. Apesar da tecnologia de reciclagem ser bastante difundida, em locais de baixo poder orçamentário ainda se opta pela solução tradicionalista de remover a camada danificada, transportá-la e depositá-la nos “bota-foras”. A avaliação em laboratório de formas de reutilização prática e simples deste material é o enfoque deste trabalho.

As recomendações propostas para utilização de material fresado, por envolver uma complexidade de fatores, desestimulam os técnicos para a escolha do processo. Entre os principais questionamentos pode - se citar o método de recuperação do ligante envelhecido pelo método Abson para fins de dosagem quanto ao reaproveitamento do ligante enrijecido feito por CASTRO NETO (2000). Entre as diversas soluções existentes de fresagem e reciclagem (BONFIM, 2001), e para a dosagem de uma nova mistura asfáltica, optou-se pela mais direta, que é a consideração do agregado fresado como mais um tipo de agregado a ser inserido na mistura. Esse agregado é então avaliado à luz dos ensaios normatizados para os materiais. Portanto é a diretriz principal desta pesquisa a aproximação do processo de incorporação de agregado fresado dos procedimentos usuais para misturas asfálticas a frio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A reciclagem de pavimentos asfálticos é uma técnica inovadora, mas não é uma idéia recente. O uso de reciclagem a quente teve início na Índia e Singapura, no início da década de 30. No final dos anos 30 o *Road Research Laboratory* iniciou experimentos com reciclagem à frio *in situ* (SULLIVAN, 1996; NICHOLLS, 1998). No entanto, apesar de produzir revestimentos com desempenho equivalente ao de misturas novas, apenas a partir da década de 70 houve maior interesse pela reciclagem de pavimentos. Isto ocorreu devido a alguns fatores, sendo o principal o aumento dos custos de construção rodoviária decorrente da alta do preço do asfalto devido ao embargo do petróleo (ROBERTS *et al.*, 1996). Antes do embargo, o custo de remover e reciclar o pavimento era maior do que o de utilizar novo material. Outra razão do desenvolvimento da reciclagem foi o advento das máquinas de fresagem à frio que proporcionaram um aumento na quantidade de material fresado. Além destes fatores, a invenção da usina *drum mix* também contribuiu para a popularização da reciclagem. Em 1986, 23% dos revestimentos asfálticos produzidos nos Estados Unidos continham algum percentual de material reciclado. Este material representava aproximadamente 5% do total de materiais utilizados na produção de revestimentos. Atualmente nos Estados Unidos cerca de 33% dos pavimentos asfálticos fresados são utilizados para reciclagem (SULLIVAN, 1996).

A reciclagem se justifica principalmente nos casos em que a avaliação estrutural e funcional indique um grau de trincamento tão acentuado que possa conduzir ao problema de reflexão de trincas no reforço convencional que venha a ser construído. Também é a solução para situações onde há problema geométrico a ser corrigido, como a elevação do greide devido a sucessivos

recapeamentos. A reciclagem torna-se muito atrativa quando há escassez de materiais pétreos nas proximidades.

Outro aspecto importante é a questão do meio ambiente. A reciclagem de pavimentos reduz o entulho, que gera um grande impacto ambiental, e também reduz a necessidade de abertura de novas jazidas para obtenção de agregados.

Um grande obstáculo para o aumento do uso da reciclagem de pavimentos é a crença de que o desempenho do revestimento reciclado é inferior ao desempenho do pavimento convencional. No entanto, avaliações detalhadas mostram que misturas asfálticas recicladas, projetadas e produzidas com controle adequado, têm desempenho semelhante às misturas convencionais (SULLIVAN, 1996).

Em resumo, podem ser destacadas as seguintes vantagens técnicas, econômicas e ambientais da reciclagem frente a reconstrução ou recapeamento (ZEBALLOS e SÁEZ, 1999). Vantagens técnicas: restaura o pavimento sem alterar o greide; não necessita refazer o acostamento; elimina reflexão de trincas (desde que fresado toda a camada trincada); remove deformações plásticas e provoca menor interferência com o tráfego. Vantagens econômicas: reaproveitamento de materiais; redução de transporte; maior velocidade de execução da obra; menor quantidade de mão de obra; menor consumo de asfalto. Vantagens ambientais: menor exploração de agregados minerais; redução ou eliminação do bota-fora; menor consumo de derivados de petróleo.

TRICHÊS *et al.* (2000) verificaram o comportamento de uma mistura asfáltica utilizando fresado como agregado estabilizado com emulsão RM - 1C em revestimentos de vias de baixo e médio volume de tráfego. Os autores alegaram que este tipo de emulsão, por possuir um certo teor de nafta em sua composição, seria capaz de “diluir” o CAP envelhecido presente no fresado. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios. Além disso, os autores verificaram em campo que o emprego do material fresado, reciclado em usina com emulsão convencional RM - 1C, em camadas de revestimento conduzia a uma durabilidade 70% maior se comparado com revestimentos executados com tratamento superficial duplo.

JUVÊNCIO *et al.* (2001) verificaram a influência da adição de polímero no comportamento mecânico de misturas asfálticas a frio. Foram utilizados dois tipos de emulsões catiônicas com adição de polímero (Emulex RL - 1C e Emulex RM - 1C) e emulsões convencionais (RL - 1C e RM - 1C). O referido estudo trabalhou com duas faixas de serviço, A e C do DNER, utilizando emulsões de ruptura média para faixa A, cujo percentual de finos é menor e emulsões de ruptura lenta para faixa C, que possui maior percentual de finos. Dos ensaios foram constatados que, para os valores obtidos do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, as misturas com polímeros apresentaram pequeno aumento em relação às misturas convencionais. No que diz respeito à avaliação do módulo de resiliência, observou-se que não ocorreu enrijecimento acentuado da mistura com asfalto modificado em relação à mistura convencional. Verificou-se ainda que a coesão da mistura com asfalto modificado expressava melhor comportamento mecânico, além de melhorar aspectos de adesividade e deformabilidade.

OLIVEIRA (2002) e KIM *et al.* (2004) fizeram um estudo comparativo entre o uso de emulsões e espuma de asfalto em misturas asfálticas recicladas a frio. Ambos os trabalhos encontraram valores máximos de estabilidade Marshall superiores para misturas a base de emulsões.

O FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1997) cita alguns métodos de dosagem de misturas recicladas a frio. Entre eles está o Método Marshall modificado. Neste método, que é bastante semelhante ao método Marshall convencional, as misturas são preparadas com 3% de água na mistura, para facilitar o envolvimento da emulsão. A compactação é realizada com 50 golpes por face e cura por 6 horas, à 60°C. Com a definição do teor ótimo moldam-se mais corpos de prova neste teor, variando a quantidade de água adicionada e determinando o volume de vazios de cada mistura. Os parâmetros de dosagem sugerem um volume de vazios entre 9% e 14%.

O ASPHALT INSTITUTE (1983) fez a proposta de um método de dosagem para misturas a frio, que não difere muito do método proposto para misturas a quente. O método prevê a seleção de emulsões asfálticas, sem citar o uso de agentes rejuvenescedores, baseado na graduação resultante da combinação de material fresado e material virgem. No entanto, o método proposto apenas estima o valor inicial de ligante virgem que será adicionado na mistura reciclada. Este valor, de acordo com o método, deve ser ajustado em campo sem, contudo, haver um parâmetro objetivo para determinar que teor de ligante virgem é suficiente.

3. MATERIAIS

3.1. Agregados

A mistura antiga que serviu de base para o presente estudo não foi “fresada” conforme descrição de serviço de fresagem por BONFIM (2001). Foi obtida da extração de uma placa de 2 toneladas ($\approx 50\text{m}^2$) da Avenida dos Expedicionários em Fortaleza que foi moída mecanicamente por processo de esmagamento realizado nas dependências do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos (LMP) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Foi então submetida ao cilindro de abrasão Los Angeles com o objetivo de aquisição de maiores frações de fino e homogeneização, baseado na experiência de LIMA (2003), que obteve desprendimento de material fino durante o ensaio. O termo “agregado fresado” será usado para indicar os agregados obtidos a partir do processo descrito.

Segundo McDANIEL e ANDERSON (2001), o agregado fresado foi tratado como “corpo negro”, e foi caracterizado como agregado, sem nenhuma alusão ao ligante enrijecido. Após o processo de obtenção do agregado fresado, foi pesado todo o material fracionado. Com base nas ponderações dos pesos por peneira foi fixada como curva granulométrica do agregado fresado. Também foram determinadas as densidades reais dos agregados seguindo as especificações DNER - ME 081/98 e DNER - ME 084/95. Os valores médios encontrados foram: 2,237 (agregado graúdo) e 2,425 (agregado miúdo). O procedimento Abrasão Los Angeles (DNER - ME 035/98) foi realizado sendo o resultado de 35,9%. Segundo a especificação para PMF (DNER - ES 317/97), o agregado fresado encontra-se no limite normatizado.

Os agregados novos utilizados foram brita 3/4" proveniente da pedreira de Itaitinga, areia de rio proveniente de Croatá e cimento Portland POTY CP 22 32 – RS utilizado como material de

enchimento. Estes materiais foram sugeridos em SANTANA (1993) para a produção de misturas de PMFs densos.

O agregado virgem originado na cidade de Itaitinga, situado a 30km da capital do Ceará. O resultado obtido no ensaio de Abrasão Los Angeles (DNER - ME 035/98) foi de 49%, valor este superior ao determinado pela norma DNER - ES 317/97. Em vista ao desempenho satisfatório de vias no estado (SILVEIRA, 1999; BENEVIDES, 2000) e comportamento mecânico de misturas produzidas no LMP/UFC (LOUREIRO, 2003; PINHEIRO, 2004; VASCONCELOS, 2004), exceção prevista na norma que permite a utilização, manteve-se a brita selecionada. Foi realizada também a granulometria do material (DNER - ME 083/98). Também foi determinada a densidade real do agregado seguindo as especificações DNER - ME 081/98, sendo o valor médio encontrado de 2,653.

A areia de rio foi coletada no rio Inhuçu do Município de Croatá, distante 275Km de Fortaleza. Realizou-se a granulometria do material (DNER - ME 083/98) constante na Tabela 1. Também foi determinada a densidade real da areia de campo seguindo as especificações DNER - ME 084/95. O valor médio encontrado foi 2,647.

Tabela 1: Granulometria da areia de rio

Peneira (mm)	% passando acumulado
4,8	100
2,0	82,9
0,42	14,9
0,18	1,4
0,075	0,3

No que diz respeito ao cimento Portland, resolveu-se escolher este filer pela literatura consultada (SANTANA, 1995; CASTELO BRANCO, 2004). O ensaio para determinação de massa específica do material de enchimento seguiu a Norma DNER - ME 085/94. O resultado, obtido no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil da UFC (LMC/DEECC), para o Cimento Portland foi de 3,1.

3.2. Emulsão Asfáltica

As misturas foram confeccionadas com emulsão RL-1C proveniente da empresa Asfaltos Nordeste, ou seja, com um teor mínimo de CAP de 60% e viscosidade Saybolt Furol a 50°C de no máximo 70s (ABEDA, 2001). A escolha da emulsão baseou-se na experiência do corpo técnico do LMP/UFC, obtida em MOREIRA e SOARES (2002). A caracterização foi realizada tanto pela fornecedora como nas dependências do LMP/UFC, e consta na Tabela 2.

Tabela 2: Características da emulsão RL-1C

Característica	Unidade	Asfaltos Nordeste	LMP	Método
Viscosidade Saybolt-Furol	S	Max 70	60	NBR 581
Sedimentação	% em peso	5	4	NBR 6570
Penetração 0,84mm	% em peso	0,1	0,000	NBR 609
Resistência à água	% min			NBR 6300
Agregado seco	% min	80		NBR 6300
Agregado úmido	% min	60		NBR 6300
Mistura com cimento	% max	2		NBR 6297
Mistura com filer silício	% max	1,2		NBR 6302
Carga da partícula		Positiva	Positiva	NBR 6567
pH	Max	6,5	2,5	NBR 6299
Solvente destilado	% em vol	Nula		NBR 6568
Resíduo mínimo	% em peso	60	62	
Desemulsibilidade mínimo	% em peso	-		NBR 6569
Desemulsibilidade máximo	% em peso	-		NBR 6569

4. METODOLOGIA

A pesquisa laboratorial usou a metodologia Marshall adaptada para ensaios de agregados, ligante e moldagem dos corpos-de-prova. O enquadramento da faixa escolhida pode ser visualizado na Figura 1 e Tabela 3. Esta faixa foi sugerida por SANTANA (1993) para estudos de PMF's densos. Trata-se da Faixa F do DNER com pequenas modificações. Com o objetivo de analisar a variável teor de fresado incorporado, manteve-se para todas as misturas produzidas a mesma curva granulométrica. Para tanto o agregado virgem serviu como corretor da curva.

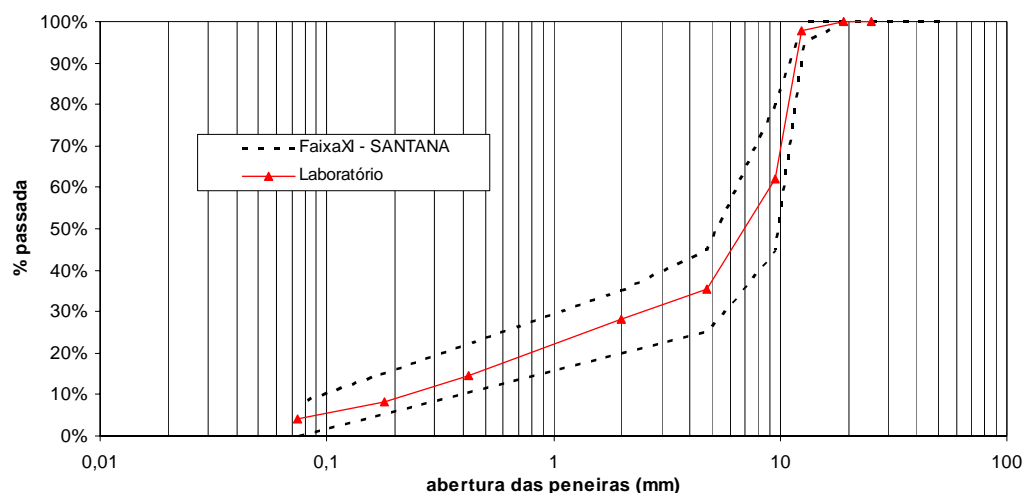
**Figura 1:** Enquadramento da mistura na faixa XI proposta por SANTANA (1993)

Tabela 3: Limites da faixa XI (SANTANA, 1993) e granulometria da mistura

Nº Peneiras	Abertura (mm)	L. Superior (%)	Granulometria (%)	L. Inferior (%)
2"	50,8	100	100	-
1 1/2"	38,1	100	100	-
1"	25,4	100	98	-
3/4"	19,1	100	62	100
1/2"	12,7	100	35	95
3/8"	9,5	80	28	45
Nº 4	4,76	45	15	25
Nº 10	2	35	8	20
Nº 200	0,075	8	4	0

A dosagem dos corpos de prova foi semelhante em todos os teores de fresado incorporado. Iniciou-se com o cálculo dos teores preliminares de CAP e Emulsão Asfáltica (EA). Para tanto, foi usada a metodologia proposta por SANTANA (1993), partindo do teor inicial através do cálculo da Fórmula de Duriez. Com o teor de EA encontrado, fez-se 5 misturas variando $\pm 0,5\%$, $-1,0\%$ e $-1,5\%$ de ligante. Os CP's foram moldados utilizando a recomendação DNER - ME 107/94. O tempo de cura entre homogeneização e compactação foi de 60 minutos conforme SANTANA (1993).

A composição granulométrica da mistura RECFRIO com 25% de fresado está apresentada na Tabela 4. O teor inicial adotado foi de 8,8% de EA.

Tabela 4: Composição da mistura com 25% de fresado (% passada)

Nº peneiras	Peneiras (mm)	Areia de				Granulometria Resultante
		Brita 3/4"	Rio	Cimento	Fresado	
		67,0%	4,0%	4,0%	25,0%	
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,5	97,0	100,0	100,0	100,0	98,0
3/8"	9,5	55,0	99,6	100,0	71,8	62,8
Nº 4	4,76	28,0	95,9	100,0	36,6	35,7
Nº 10	2	22,0	83,0	100,0	21,3	27,4
Nº 40	0,42	13,0	14,9	100,0	8,6	15,5
Nº 80	0,18	5,0	1,4	100,0	2,7	8,1
Nº 200	0,075	0,0	0,3	100,0	0,8	4,2

O teor de projeto escolhido foi aquele referente à mistura de valor mais alto obtido no ensaio de Resistência a Tração (RT) por compressão diametral (DNER - ME 138/94). Para as misturas com RL-1C e 25% de fresado incorporado foi selecionado o teor de 8,3% de emulsão convencional, o que corresponde a 5,1% de ligante residual. Os valores encontrados para RT de misturas contendo 25% de fresado são apresentados na Tabela 7.

A composição granulométrica da mistura RECFRIO com 50% de fresado está indicada na Tabela 5, o teor inicial adotado foi de 8,9% de EA.

Tabela 5: Composição da mistura com 50% de fresado (% passada)

Nº peneiras	Peneiras (mm)	Areia de		Cimento 2,0%	Fresado 50,0%	Granulometria Resultante
		Brita ¾"	Rio 4,0%			
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
¾"	19,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
½"	12,5	94,0	100,0	100,0	100,0	97,4
⅜"	9,5	48,0	99,6	100,0	71,8	63,0
Nº 4	4,76	27,0	95,9	100,0	36,6	36,0
Nº 10	2	26,0	83,0	100,0	21,3	27,4
Nº 40	0,42	20,0	14,9	100,0	8,6	15,7
Nº 80	0,18	11,0	1,3	100,0	2,7	8,2
Nº 200	0,074	4,0	0,3	100,0	0,8	4,2

O teor de projeto escolhido foi o referente à mistura de valor mais alto de RT. Para as misturas com RL-1C e 50% de fresado incorporado foi selecionado o teor de 8,4% de emulsão convencional, o que corresponde a 5,2% de ligante residual. Os valores encontrados para RT de misturas contendo 50% de fresado são apresentados na Tabela 7.

A composição granulométrica da mistura RECFRIO com 75% de fresado está indicada na Tabela 6. O teor inicial adotado foi de 9,1% de EA.

Tabela 6: Composição da mistura com 75% de fresado (% passada)

Nº peneiras	Peneiras (mm)	Brita ¾"	Areia de		Fresado 75,0%	Granulometria Resultante
			Rio 2,0%	Cimento 2,0%		
1"	25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
¾"	19,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
½"	12,5	90,0	100,0	100,0	100,0	97,9
⅜"	9,5	30,0	100,0	100,0	71,8	64,1
Nº 4	4,76	29,0	100,0	100,0	36,6	37,5
Nº 10	2	28,0	83,0	100,0	21,3	25,5
Nº 40	0,42	26,0	14,9	100,0	8,6	14,2
Nº 80	0,18	20,0	1,3	100,0	2,7	8,3
Nº 200	0,074	10,0	0,3	100,0	0,8	4,7

O teor de projeto escolhido foi aquele referente à mistura de valor mais alto de RT. Para as misturas com RL-1C e 75% de fresado incorporado foi selecionado o teor de 8,6% de emulsão convencional, o que corresponde a 5,3% de ligante residual. Os valores encontrados para RT de misturas contendo emulsão convencional RL-1C e 75% de fresado são apresentados na Tabela 7.

5. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Os resultados do comportamento mecânico encontrados para misturas asfálticas a frio contendo agregado fresado incorporado mostraram-se baixos quando comparados com Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ) convencionais, porém satisfatórios em relação a outras misturas a frio.

Tabela 7: Valores de RT

Teor de Fresado Incorporado (%)	Teor de EA (%)	RT (MPa)
25	7,3	0,4
	7,8	0,46
	8,3	0,48
	8,8	0,46
	9,3	0,40
50	7,9	0,32
	8,4	0,35
	8,9	0,30
	9,4	0,30
	9,9	0,24
75	8,1	0,23
	8,6	0,29
	9,1	0,26
	9,6	0,20
	10,1	0,19

Os valores obtidos de RT (Tabela 7) para os corpos de prova com fresado apresentaram valores próximos aos encontrados por MOREIRA e SOARES (2002) e PINTO *et al.* (1994) *apud* MOTTA *et al.* (2002). Segundo MOTTA *et al.* (2002), o uso de capa de rolamento contendo misturas recicladas a frio se mostrou adequado após 8 anos de serviço, com características semelhantes de trechos com capas convencionais submetidos ao mesmo nível de tráfego.

Observando-se a Norma DNER - ME 133/94 foram realizados ensaios de Módulo de Resiliência (MR). Os resultados são apresentados na Tabela 8. Para verificação da repetibilidade do ensaio foram realizados no mesmo corpo de prova (CP) dois ensaios de MR, diferindo a posição destes no equipamento de um ângulo de 90°. Está apresentada somente a média dos resultados por CP.

Seguindo a Norma DNER - ME 35/98 avaliou-se o desgaste Cantabro (Tabela 9) nas misturas no teor de projeto. O resultado de ensaio Cantabro indica a resistência ao desgaste, patologia comum em revestimentos de misturas a frio (SILVEIRA, 1999).

Tabela 8: Módulo de Resiliência (MR) no Teor de Projeto

Teor de Fresado Incorporado (%)	Teor de Projeto (% EA)	CP N°	Módulo (MPa)	Média (MPa)
25	8,3	1	1818	1722
		2	1846	
		3	1502	
50	8,4	1	606	599
		2	550	
		3	642	
75	8,6	1	552	522
		2	474	
		3	538	

Tabela 9: Desgaste Cantabro no Teor de Projeto

Teor de Fresado Incorporado (%)	Teor de Projeto (% EA)	CP N°	Desgaste (%)	Média (%)
25	8,3	1	13,1	10,2
		2	8,1	
		3	9,5	
50	8,4	1	10,5	11,5
		2	12,1	
		3	11,9	
75	8,6	1	16,0	17,1
		2	18,1	
		3	17,2	

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As misturas recicladas a frio obtidas em laboratório apresentam baixos valores de RT quando comparadas ao CBUQ convencional, não sendo, portanto, adequadas para vias de alto volume de tráfego. No entanto, as misturas apresentaram valores compatíveis com aqueles obtidos para AAUQ se mostrando uma alternativa para vias de médio e baixo volume de tráfego. Os valores de MR encontrados em misturas com 25% de fresado apresentaram-se bastante satisfatórios quando comparados aos resultados obtidos em MOREIRA e SOARES (2002) e próximos ao de SOARES *et al.* (2002).

O aumento na taxa de incorporação do teor de fresado nas misturas mostrou-se inversamente proporcional para a resistência mecânica, ou seja, quanto mais elevado o teor de fresado menores os valores obtidos de parâmetros mecânicos.

A proximidade do teor de projeto nas 3 misturas funciona como indicativo da baixa reincorporação do ligante oxidado, para o tempo de observação imediato, demonstrando não haver reintegração do ligante antigo, mesmo nas misturas com teores elevados de fresado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEDA, 2001, Manual Básico de Emulsões Asfálticas. Soluções para pavimentar sua cidade, 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ.
- ABNT, 2000, NBR 14491 - Emulsões asfálticas - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Associação Brasileira de Norma Técnica
- ABNT, 2003, NBR 06297 - Emulsão asfáltica de ruptura lenta - Determinação de ruptura - Método da mistura com cimento. Associação Brasileira de Norma Técnica
- ABNT, 2000, NBR 06570 - Emulsões asfálticas - Determinação da sedimentação. Associação Brasileira de Norma Técnica
- ABNT, 1999, NBR 14393 - Emulsões asfálticas - Determinação da peneiração. Associação Brasileira de Norma Técnica
- ABNT, 2001, NBR 06300 - Emulsões asfálticas catiônica - Determinação da resistência à água (adesividade). Associação Brasileira de Norma Técnica
- ABNT, 2000, NBR 06569 - Emulsões asfálticas catiônicas - Determinação da desemulsibilidade. Associação Brasileira de Norma Técnica
- ABNT, 2000, NBR 06567 - Emulsões asfálticas - Determinação da carga de partícula. Associação Brasileira de Norma Técnica
- ABNT, 1999, NBR 06299 - Emulsões asfálticas - Determinação do pH. Associação Brasileira de Norma Técnica
- ABNT, 1999, NBR 06568 - Emulsões asfálticas - Determinação do resíduo de destilação. Associação Brasileira de Norma Técnica
- ASPHALT INSTITUTE, 1983, Asphalt Cold-Mix Recycling, manual series no. 21, first edition, U.S.A.
- BENEVIDES, S.A.S., 2000, Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento dos Pavimentos Asfálticos: Empírico do DNER e da Resiliência da COPPE/UFRJ em Rodovias do Estado do Ceará Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- BONFIM, V., 2001, Fresagem de Pavimentos Asfálticos, Ed. Fazendo Arte Editorial, RJ.
- CASTELO BRANCO, V.T.F., 2004, Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- CASTRO NETO, A.M., 2000, Proposta de Projeto de Dosagem de Concreto Betuminoso Reciclado a Quente. Dissertação de Mestrado, EPUSP, USP. SP.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE, 2004, Relatório de Pesquisa Rodoviária, Rio de Janeiro, RJ
- DNER, 1998, ME 083 – Agregados – análise granulométrica. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER, 1998, ME 081 – Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER, 1997, ES 317 – Pavimentação – pré-misturados a frio. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER, 1994, ME 085 – Material finamente pulverizado- determinação da massa específica real. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER, 1995, ME 084 – Agregado miúdo – determinação da densidade real. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER, 1994, ME 107 – Mistura betuminosa a frio com emulsão asfáltica – ensaio Marshall. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER, 1994, ME 133 - Misturas Betuminosas - determinação do módulo de resiliência. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER, 1994, ME 138 - Misturas Betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER, 1998, ME 35 – Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- FHWA, 1997, Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. Federal Highway Administration. USA.

- JUVENCIO, E.L., CARVALHO, C.A.B., REIS, R.M.M. e SANTO, N.R.E., 2001, “Influência da Adição de Polímero no Comportamento Mecânico de Misturas Betuminosas a Frio”. 33a Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis, SC.
- KIM, Y.; LEE, H.D. e CECCOVILLI, R., 2004, “Laboratory Evaluation of Engineered CIR Emulsion and Foamed Asphalt Mixtures for Cold-In-Place Recycling of Asphalt Pavements”. 83rd Annual Meeting of Transportation Research Board. Washington, DC, USA.
- LASTRAN, 1998, Concessão de Rodovias no Rio Grande do Sul. Relatório Interno, UFRGS, RS.
- LIMA, A. T., 2003, Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente. Dissertação de Mestrado, PETRAN, UFC, CE.
- LOUREIRO, T.G., 2003, Estudo da Evolução do Dano por Fadiga em Misturas Asfálticas. Dissertação de Mestrado. PETRAN, UFC, CE.
- McDANIEL, R. e ANDERSON, R.M., 2001, NCHRP REPORT 452 Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician's Manual, TRB. Washington, DC, USA
- MOREIRA, H.S. e SOARES, J. B., 2002, “Reciclagem a Frio em Pavimentos Asfálticos no Estado do Ceará”. Projeto de Graduação em Engenharia Civil, UFC, CE.
- MOTTA, L. M., G., PINTO, S. e GUARÇON, D. S., 2002, “Trecho de Reciclagem a Frio na BR-393 – Avaliação Após 8 Anos de Implantação, 16º Encontro de Asfalto, Instituto Brasileiro de Petróleo, IBP. Rio de Janeiro, RJ.
- NICHOLLS, C., 1996, Asphalt Surfacing – A Guide to Asphalt Surfacing and Treatments Used for the Surface Course of Road Pavements. Transport Research Laboratory – Londres.
- OLIVEIRA, W., 2002, “Emulsão e Espuma de Asfalto para Reciclagem In-Situ a Frio”. 16º Encontro de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ.
- PINHEIRO, J.H.M., 2004, Incorporação de Borracha Moída de Pneu em Misturas Asfálticas de Diferentes Granulometrias (Processos Úmido e Seco). Dissertação de Mestrado. PETRAN, UFC, CE.
- PRADO, C.A.; e SÓRIA, M.H.A., 2003, “Contribuição à Dosagem de Misturas de Areia-Asfalto Feitas com Emulsão de Ruptura Lenta”. 34º Reunião Anual de Pavimentação. Campinas, SP.
- ROBERTS, F. L., KANDHAL, P. S., BROWN, E. R., LEE, D. Y. e KENNEDY, T. W., 1996, Hot Mix Asphalt Material, Mixture, Design, and Construction. Segunda Edição, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland.
- SANTANA, H., 1993, Manual de Pré-misturados à frio. IBP/Comissão de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ.
- SANTANA, H., 1995, Considerações Sobre os Nebulosos Conceitos e Definição de Filler em Misturas Asfálticas. 29ª. Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá, MT.
- SILVEIRA, M.A., 1999, Estudo de Adição de Polímero em Areia-Asfalto a Frio. Dissertação de Mestrado. EESC, USP, SP.
- SOARES, J. B., ALDIGUERI, D.R. e LEITE, L.F.M., 2002, Métodos de Dosagem e Caracterização Mecânicas de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente, Relatório Interno, LMP, Fortaleza, CE.
- SULLIVAN, J., 1996, Pavement Recycling Executive Summary and Report. FHWA-AS-95-060, USA.
- TRICHÊS, G; LAZZARIN C.A. e BEZEM W.T., 2000, “Estudo sobre o aproveitamento do material fresado no revestimento de vias urbanas”. Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico. São Paulo, SP, Brasil.
- VASCONCELOS, K.L., 2004, Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas a Quente Dosadas pelas Metodologias Marshall e Superpave com Diferentes Granulometrias. Dissertação de Mestrado, PETRAN, UFC, Fortaleza, CE.
- ZEBALLOS, G.T. e SÁEZ, G.G., 1999, Reciclado em Frio de Pavimentos Asfálticos. Diseño De Mezclas em Base a Emulsiones. 10º Congresso Ibero-Latinoamericano Del Asfalto. Sevilla, Espanha

Heberton Souto Moreira (hsmoreira@det.ufc.br)

Jorge Barbosa Soares (jsoares@det.ufc.br)

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia – Campus do Pici, S/ N° Departamento de Engenharia de Transportes, DET Bloco: 703 CEP: 60.455-970 Fortaleza - Ceará - Brasil

Laura Maria Goretta da Motta (laura@coc.ufrj.br)

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Laboratorio de Geotecnologia
Rio de Janeiro - RJ - Brasil