

AValiação DA QUALIDADE DO MICrorREVESTIMENTO ASFÁLTICO A Frio UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE LIGANTES

Pedro Bastos de Castro ⁽¹⁾

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

Suely Helena de Araújo Barroso ⁽²⁾

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN)

RESUMO

O Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF) é um tipo de revestimento aplicado na manutenção de pavimentos que tem sido usado com sucesso no Brasil e no mundo. De acordo com suas especificações de serviço, o ligante adequado para sua utilização é a emulsão asfáltica do tipo ruptura controlada modificada por polímeros (RC1C-E). Entretanto, foi constatado em algumas inspeções de campo o emprego da emulsão asfáltica de ruptura lenta, sendo esta indicada para aplicações de Lama Asfáltica (LA), causando assim uma redução na durabilidade do MRAF. O objetivo geral deste trabalho é avaliar o comportamento do MRAF quando utilizados tipos de ligante diferentes. Os resultados obtidos em laboratório indicaram que a substituição do ligante acarreta em um aumento do desgaste superficial e os tempos de cura do revestimento para liberação ao tráfego são sensivelmente alterados. Dessa forma, ressalta-se a importância da caracterização prévia dos materiais utilizados em obras de MRAF. Por fim, foi proposta uma metodologia simplificada de campo para verificação da qualidade da emulsão empregada em MRAF.

Palavras-chaves: Manutenção de Pavimentos, Microrrevestimento Asfáltico, Emulsão Asfáltica.

ABSTRACT

Microsurfacing (MS) is a type of bituminous coating applied in pavement maintenance that has been successfully used in Brazil and all over the world. According to its service specification, the appropriate bituminous binder adopted in MS applications is Quick Set Polymer Modified Asphalt Emulsion (RC1C-E). However, the use of Slow Set Emulsion has been observed in some field researches, which is indicated for Slurry Seals (SS) applications, causing a reduction on the durability of the MS. The main objective of this paper is evaluate the MS behavior when using different types of bituminous binder. Results obtained in the laboratory indicated that the substitution of the binder entails an increase on surface wear and the coating cure times for release to the traffic are appreciably altered. Therefore, the importance of the previous characterization of the materials used in MS works is emphasized. Finally, a simplified field methodology was proposed to verify the emulsion quality applied in MS.

Palavras-chaves: Pavement Maintainance, Microsurfacing, Asphalt Emulsion.

1. INTRODUÇÃO

Os projetos de pavimentos asfálticos são realizados considerando uma vida útil pré-determinada. Para garantir que o pavimento consiga atingir a sua vida útil com aceitável nível de serviço, é necessário realizar atividades de manutenção preventiva em sua superfície. Geralmente são empregadas as seguintes técnicas para manutenção de rodovias: Tratamentos Superficiais (TS), a Lama Asfáltica (LA), o Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF) e o *Cape Seal* (CS).

Segundo Reis (2005), o MRAF tem sido aplicado como forma de solucionar patologias funcionais do pavimento. Silva *et al.* (2009) adotaram o MRAF para corrigir problemas na rodovia estadual ES-440 e também obtiveram bons resultados. Vale (2003) estudou o MRAF monitorando alguns segmentos em rodovias do estado de São Paulo e concluiu que o MRAF melhora as condições de aderência e corrige problemas de afundamento de trilhas de roda. O autor ainda destaca que a qualidade dos materiais utilizados, especialmente a emulsão asfáltica, é fator decisivo para o sucesso da técnica.

Reis (2005) avaliou o comportamento do MRAF estudando três faixas granulométricas distintas. Nesse trabalho, o comportamento dos corpos de prova quanto ao deslocamento lateral e vertical foram avaliados através de um simulador de tráfego de laboratório. Os resultados mostraram que o MRAF composto por agregados na faixa III do DNIT apresentaram os piores desempenhos, ultrapassando os limites estabelecidos nas normas no que tange ao deslocamento lateral e vertical.

Castro (2011) estudou a influência da qualidade dos agregados no comportamento do MRAF. Nesse trabalho, foi demonstrado que a simples mudança do agregado pode acarretar em acréscimo de custo de aplicação do MRAF, assim como alterar os tempos de liberação ao tráfego.

Alguns pesquisadores vêm estudando também a viabilidade do emprego de agregados alternativos em MRAF. Vasconcelos (2013) estudou o emprego do agregado siderúrgico em MRAF. Castro (2014) além de avaliar o emprego do agregado siderúrgico, realizou estudos com a incorporação de material fresado em MRAF. Os resultados apresentados pelos autores demonstraram que esses agregados alternativos têm potencial para serem utilizados como alternativa aos agregados convencionais.

Em serviços de MRAF, a escolha de agregados de qualidade é decisiva no sucesso da aplicação da técnica. Os materiais que não se enquadram nos padrões mínimos exigidos pelas normas tendem a não obter uma boa compatibilidade com a emulsão asfáltica utilizada, ocasionando em tempos de ruptura prematuros, dificultando o espalhamento da massa, além de causar um desgaste prematuro da superfície. Além disso, o emprego de ligantes inadequados ou de baixa qualidade também é um fator que prejudica diretamente a durabilidade do MRAF.

Através de visitas de campo realizadas pelos autores do presente trabalho, foram constatados alguns relatos de insucessos de aplicações do MRAF. Em alguns casos, verificou-se a utilização da emulsão de ruptura lenta (do tipo RL1C-E), indicada para utilização em LA. O emprego da emulsão RL1C-E em MRAF pode causar prejuízos, pois parâmetros como a coesão da massa, tempo de cura e desgaste da superfície são diretamente afetados quando ocorre a mudança no ligante, podendo ainda inviabilizar o emprego da técnica para o propósito que a mesma foi desenvolvida.

Tendo conhecimento dessa problemática, realizou-se um estudo buscando avaliar a influência da utilização de ligantes inadequados no comportamento do MRAF. Foram confeccionados corpos-de-prova com os dois tipos de ligantes citados (RC1C-E e RL1C-E) para que fossem verificadas as diferenças quanto ao desgaste superficial e às características de cura (tempo de liberação ao tráfego), visando alertar engenheiros e profissionais envolvidos na área da pavimentação para o prejuízo que essa prática pode causar na aplicação do MRAF.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo a norma da *International Slurry Surfacing Association A-143* (ISSA, 2010), o MRAF é uma mistura composta de emulsão asfáltica modificada por polímeros, agregados minerais, água e aditivos misturados e aplicados de maneira uniforme sobre uma superfície preparada para receber a mistura. A FHWA (1994) considera o MRAF como uma evolução da LA,

possuindo os mesmos princípios e concepção, porém diferenças na qualidade do ligante, dos agregados utilizados e no seu comportamento.

Vale e Suzuki (2004) relatam que o MRAF tem obtido destaque no país como uma técnica que apresenta resultados satisfatórios, proporcionando um revestimento durável e resistente ao tráfego. Santo e Reis (1999) relatam que o avanço tecnológico das emulsões asfálticas auxiliou na evolução do MRAF, pois é um revestimento que utiliza asfaltos modificados com polímeros, proporcionando uma revitalização da superfície mais eficiente e durável.

Segundo a ABEDA (2010), o MRAF é indicado para as seguintes situações: selagem de trincas, manutenção de superfícies oxidadas, ausência de aderência entre pneu e pavimento, impermeabilização do pavimento, revitalização de superfícies desgastadas, preenchimento de trilhas de roda etc. Além disso, utiliza-se o MRAF como camada intermediária para retardamento do processo de reflexão de trincas e para o preenchimento de painéis quando a profundidade das mesmas for pequena. De acordo com a FHWA (1994), os agregados devem ser 100% britados, limpos, com partículas de boa durabilidade e livres de areia e impurezas que possam afetar a mistura e a aplicação, alterando também o tempo de ruptura da emulsão, gerando prejuízos na aplicação.

A emulsão asfáltica empregada segundo a especificação ES 035 (DNIT, 2005) é do tipo ruptura controlada modificada por polímeros, podendo ser catiônica ou aniônica, dependendo do tipo de agregado que for utilizado. A norma A-143 (ISSA, 2010) especifica a quantidade de polímero que a emulsão deve conter é em torno de 3% do peso de asfalto. O filler também é adicionado ao MRAF para promover uma redução da segregação do agregado e o afloramento do ligante e aumentar a coesão da massa. Além disso, teores diferentes de filler alteram o tempo de ruptura da emulsão. Como exemplo pode-se citar o cimento Portland, a cal e os pós-calcários.

Ainda de acordo com a A-143 (ISSA, 2010), os aditivos são empregados no MRAF para alterar o tempo de ruptura da emulsão. Esse tempo é determinado através da realização de ensaios laboratoriais, onde é verificada também a compatibilidade dos materiais que compõem o MRAF. De acordo com a FHWA (1994), geralmente a quantidade de aditivo adicionada na mistura varia entre 0% e 2%.

As fibras também podem ser utilizadas no MRAF com o objetivo de tornar o revestimento mais resistente à ruptura por fadiga, proporcionando uma melhor resistência às solicitações do tráfego ao longo do tempo. Segundo Santo e Reis (1999), o MRAF com fibras é indicado para pavimentos com elevado grau de trincamento, permitindo retardar intervenções de reforço estrutural nas rodovias.

Segundo as normas NBR 14948 (ABNT, 2003) e a A-143 (ISSA, 2010), para realizar a dosagem do MRAF são necessários a realização de ensaios de laboratório com o intuito de verificar a compatibilidade entre os materiais selecionados, o teor ótimo de ligante e as características de cura da massa. A Tabela 1 mostra os ensaios utilizados para a realização desses procedimentos.

O MRAF é executado de maneira simplificada, consistindo no espalhamento da massa fluida sobre o pavimento. Segundo a ES 035 (DNIT, 2005), a usina de aplicação do MRAF deve manter uma velocidade de deslocamento constante, sendo esta a mais reduzida possível. Geralmente, a velocidade de deslocamento da usina gira em torno de 6 km/h. A usina de MRAF

é o principal equipamento utilizado no serviço, onde são armazenados todos os materiais utilizados, além de ser responsável pela a dosagem dos materiais, pela mistura dos mesmos e pela aplicação do MRAF.

Tabela 1: Ensaios para determinação da compatibilidade de materiais e dosagem da MRAF conforme A-143(ISSA, 2010) e NBR 14948 (ABNT, 2003)

Ensaios	Normas	Especificações
Tempo mínimo de misturação	TB-113/1990 / NBR-14758/2001	120 segundos (mínimo)
Determinação da adesividade de misturas	TB-114/1990 / NBR-14757/2001	Área coberta (90% mínimo)
Desgaste por abrasão úmida (WTAT)	TB-100/1990 / NBR-14746/2001	Após 1 h de imersão: 538 g/m ² Após 6 dias de imersão: 807 g/m ²
Determinação da coesão da mistura	TB-139/1990 / NBR-14798/2002	30 min após moldagem: 12 kg.cm 1 h após moldagem 20 kg.cm
Determinação da adesão de areia pela máquina LWT	TB-109/1990 / NBR-14841/2002	538 g/m ² máximo

Maiores detalhes sobre o processo executivo e controle de qualidade da aplicação podem ser observados em Castro (2011). Finalizada a aplicação do MRAF, deve-se observar o processo de ruptura da emulsão (caracterizada pela mudança de cor da massa de marrom para preto) e em seguida a cura da massa para prosseguir com a liberação da rodovia ao tráfego. O tempo médio de abertura ao tráfego é de 1 hora após a realização do serviço. Entretanto, Ceratti e Reis (2011) citam que alguma variação nesse tempo pode ocorrer em função das condições climáticas ou da espessura do MRAF aplicado, podendo nesses casos a liberação ocorrer em até 2 horas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os agregados selecionados para realização da pesquisa foram a brita e o pó de pedra de origem gnaíse. Utilizou-se no presente trabalho o agregado aqui denominado de Tipo 1, pois esse material apresentou os melhores resultados para emprego em revestimentos do tipo MRAF da Região Metropolitana de Fortaleza conforme ressaltado em Castro (2011). Todos os ensaios realizados neste trabalho foram realizados em laboratório com condições de temperatura e umidade controladas, evitando-se assim que ocorresse qualquer variação que pudesse alterar os resultados aqui apresentados.

A emulsão asfáltica utilizada foi do tipo Ruptura Controlada Modificada por Polímeros (RC1C-E). O outro tipo de emulsão empregado na pesquisa foi a do tipo Ruptura Lenta Modificada por Polímeros (RL1C-E), sendo assim possível realizar um comparativo do comportamento do MRAF quando utilizado o ligante inadequado, visto que emulsões de ruptura lenta são apropriadas para serviços de LA. Como filler, foi selecionado o cimento Portland do tipo CP-II.

Os ensaios realizados para a caracterização dos agregados foram: *a)* Granulometria (DNER – ME 083); *b)* Índice de forma (DNER-ME 086); *c)* Desgaste “Los Angeles” (DNER – ME 035); *d)* Azul de metileno (NBR 14949) e *e)* Equivalente de areia (DNER – ME 054). Os ensaios realizados com a emulsão asfáltica foram: *f)* Viscosidade Saybolt Furol (NBR 14491); *g)* Sedimentação (DNER – ME 006); *h)* Peneiração (NBR 14393); *i)* Carga de partícula (NBR 6567); *j)* Resíduo por evaporação (NBR 14376); *k)* Determinação do pH (NBR 6299); *l)* Penetração (DNER – ME 003); *m)* Recuperação elástica (DNER – ME 382) e *n)* Ponto de amolecimento (NBR 6560).

Para os procedimentos de dosagem e avaliação do comportamento do MRAF em laboratório foram necessários a moldagem de três tipos de corpos-de-prova distintos. Os ensaios realizados foram: ensaio de perda por abrasão úmida WTAT (NBR 14746), ensaio de adesão de areia pela máquina LWT (NBR 14841) e o ensaio de determinação da coesão e características da cura pelo coesímetro (NBR 14798). Os processos de moldagem dos corpos-de-prova estão ilustrados nas Figura 1, 2 e 3.



Figura 1: Moldagem dos corpos-de-prova para ensaio WTAT



Figura 2: Moldagem dos corpos-de-prova para ensaio LWT



Figura 3: Moldagem dos corpos-de-prova para ensaio de coesão

A definição do teor de projeto de ligante do MRAF foi obtido através dos resultados dos ensaios de WTAT e LWT. Para esse procedimento, são moldados pelo menos quatro corpos-de-prova com teores distintos de ligante que são submetidos aos dois ensaios. Os resultados obtidos são expressos graficamente e a interseção das duas curvas obtidas indica o teor de projeto a ser adotado. O ensaio de WTAT mede a resistência ao desgaste superficial e define o teor mínimo de ligante a ser adotado. No caso do ensaio de LWT, mede-se o nível de exsudação e define-se o teor máximo de ligante a ser adotado. As Figuras 4 e 5 ilustram os procedimentos realizados.



Figura 4: Realização do ensaio WTAT



Figura 5: Realização do ensaio LWT e adesão de areia

A verificação da compatibilidade ligante-agregado foi realizada através da determinação da adesividade da mistura (NBR 14757). A necessidade de utilização de aditivo, assim como a definição do seu teor foi realizada através do ensaio de determinação do tempo mínimo de misturação (NBR 14758) ilustrado na Figura 6. A NBR 14758, baseada na norma americana ISSA TB-113, delimita um tempo mínimo de 120 segundos para a ruptura da emulsão. Caso o tempo medido seja menor, adiciona-se aditivo até que se atinja o tempo de 120 segundos. O emprego desse tipo de aditivo é somente para aumentar o tempo de ruptura da, não havendo evidências laboratoriais e no campo de ganho de durabilidade do revestimento.

Entretanto, alguns técnicos e especialistas da área de pavimentação no Brasil contestam esse tempo de 120 segundos preconizado pela norma. Sabe-se que em determinadas regiões do país, o MRAF é executado em temperaturas elevadas que pode provocar uma redução no tempo de ruptura da emulsão. Baseado nisso, técnicos e especialistas em MRAF, assim como Ceratti e Reis (2011), consideram que o tempo de misturação em laboratório esteja entre 180 e 300 segundos. O tempo considerado neste trabalho foi de 240 segundos.



Figura 6: Realização do ensaio de determinação do tempo mínimo de misturação

O comportamento do MRAF em laboratório foi analisado através de dois ensaios. Para cada tipo de ligante, foram moldados dezesseis corpos-de-prova, cada um em seu teor de ligante de projeto. Realizou-se o mesmo ensaio de perda por abrasão úmida (WTAT), onde foram utilizadas doze amostras e o ensaio de determinação da coesão e características da cura pelo coesímetro (NBR 14798), onde utilizou-se quatro amostras. O ensaio do coesímetro é baseado na norma americana ISSA TB-139 e está ilustrado na Figura 7.



Figura 7: Realização do ensaio de coesão

O comparativo de desgaste superficial do MRAF utilizando os dois tipos de ligante foi realizado através do ensaio de perda por abrasão úmida, adotando-se os teores de projeto encontrados nos processos de dosagem. Já o comparativo do tempo de liberação ao tráfego foi realizado através dos resultados do ensaio de coesão. O ensaio consiste em medir a resistência ao torque superficial de uma amostra de MRAF durante o seu processo de cura.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Caracterização dos Materiais

Os resultados da caracterização do agregado (ver Tabela 2) indicam que o material coletado está enquadrado nas especificações exigidas para utilização em revestimentos do tipo MRAF. Deve-se destacar que para o caso da Abrasão Los Angeles, o valor obtido ficou ligeiramente superior ao tolerado (40%). Entretanto, a especificação ES 035 (DNIT, 2005) cita que valores acima do permitido podem ser considerados aceitáveis, caso se tenha registros de emprego desse tipo de agregado em obras de MRAF. Os ensaios de caracterização dos ligantes foram realizados pelo laboratório do fabricante que cedeu a referida emulsão e os resultados estão apresentados na Tabela 3. Pode-se observar que as emulsões asfálticas fornecidas atendem a todos os requisitos da norma DNIT 128/2010.

Tabela 2: Quadro resumo da caracterização dos agregados

Ensaio	Agregado tipo 1
Granulometria	Faixa II DNIT
Índice de Forma	0,64
Abrasão Los Angeles (%)	40,8
Azul de Metileno (mg/g)	1,5
Equivalente de Areia (%)	66,2%

Tabela 3: Resultados da caracterização das emulsões asfálticas

Ensaio Realizado	Resultados/Especificação (RC1C-E)	Resultados/Especificação (RL1C-E)
Viscosidade Saybolt-Furol, s, a 50°C	35/70 máx	19/70 máx.
Peneiração, 0,84mm, máx (%)	0,01/0,1	0,01/0,1
Carga da Partícula	Positiva/ Positiva	Positiva/ Positiva
Resíduo por Evaporação (%)	63,6/62	60,6/60
Penetração a 25°C, 100g, 5s	58/45-150	60/45-150
Recuperação Elástica, 20cm, 25°C (%)	73/70	71/70
Ponto de Amolecimento, °C	70/55 mín	72/55 mín
Sedimentação (%)	0,8/5 máx	0,7/5 máx

4.2. Dosagem e Avaliação do Comportamento do MRAF

A Tabela 4 apresenta de forma resumida os resultados obtidos no processo de dosagem realizada para os dois tipos de ligante utilizados nesta pesquisa.

Tabela 4: Quadro resumo da dosagem das misturas

Resultados	Agregado Tipo 1 c/ RC1C-E	Agregado Tipo 1 c/ RL1C-E
Adesividade	Satisfatória	Não Satisfatória
Teor de Aditivo	0%	0,0%
Teor de Emulsão	10,8%	11,6%

Com relação à adesividade, verifica-se que ocorre um prejuízo da mesma ao substituir o ligante. Tal problema acontece devido ao fato do maior tempo de cura da massa, onde percebe-se que o ligante não envolve completamente os agregados, indicando que com esse tipo de ligante o MRAF estaria mais propício ao desgaste prematuro quando submetido à ação do tráfego.

Pode-se constatar que os teores de emulsão quando utilizada a RL1C-E é maior, indicando que para uma determinada granulometria, a troca do ligante requer uma maior quantidade do mesmo no projeto do MRAF. Entretanto, percebe-se na questão do teor de aditivo para nenhum dos casos foi necessária sua utilização, indicando boa compatibilidade entre os ligantes e os agregados. Para o caso da RL1C-E, esse resultado já era esperado uma vez que seu tempo de ruptura é sabidamente superior ao da RC1C-E. Deve-se frisar que a utilização do aditivo somente altera o tempo de ruptura da emulsão, não havendo ganhos de resistência e durabilidade com o seu emprego.

Com relação à capacidade de resistir ao desgaste superficial pela ação do tráfego, avaliada em laboratório através dos ensaios de WTAT, pode-se constatar que a troca do ligante acarreta em severos prejuízos. Conforme demonstrado na Figura 8, o desgaste médio apresentado pelo MRAF com RL1C-E foi superior ao dobro da média obtida com a RC1C-E. Além disso, o limite estabelecido como máximo pelas especificações é de 538 g/m², valor superado quando utilizado o ligante inadequado para MRAF.

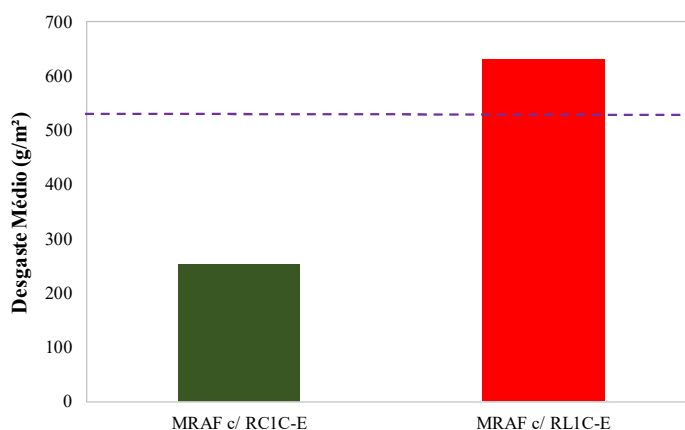


Figura 9: Desgaste médio obtido no ensaio WTAT para os dois tipos de ligantes utilizados

Com relação ao tempo de liberação ao tráfego, houve grandes alterações quando comparados os tempos dos dois tipos de ligantes como pode ser observado na Figura 10. Pode-se constatar que há diferença de comportamento do processo de cura das duas emulsões. Verifica-se que para um período de 240 min (4 horas), o MRAF executado com a emulsão do tipo RL1C-E não

obteve resultados de torque mínimo necessário para liberar o tráfego, ou seja, em um período maior que o tempo que foi obtido com a emulsão do tipo RC1C-E.

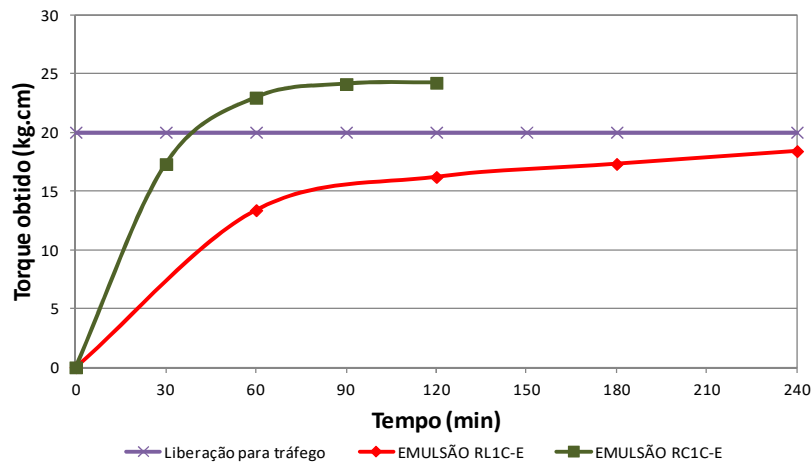


Figura 10: Comparativo do torque obtido com os dois tipos de emulsão

A Figura 11 ilustra a situação das amostras com os dois tipos de ligante submetidas ao ensaio de coesão para um período de duas 2 horas. Percebe-se de maneira clara que a amostra com RL1C-E desagrega com facilidade quando submetida ao torque do equipamento do ensaio e que não há condições de liberar um segmento ao tráfego se utilizado esse ligante.

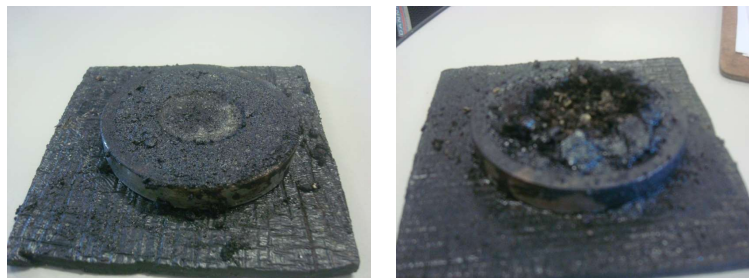


Figura 11: Situação das amostras submetidas ao ensaio de coesão 2 horas após moldagem

5. PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA SIMPLIFICADA DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO LIGANTE EMPREGADO EM MRAF

Ressaltada a importância da verificação da qualidade do ligante asfáltico não só em laboratório, mas também no campo, esse trabalho propõe uma metodologia simplificada para verificar a qualidade da emulsão asfáltica no que diz respeito especificamente às suas características de cura. Essa proposição se deve ao fato de que, em muitos casos, não é possível realizar o ensaio de coesão da mistura em campo devido à pouca disponibilidade do equipamento.

A realização desse procedimento, devido à sua simplicidade, não deve ser utilizado como parâmetro único que definirá a qualidade do ligante asfáltico utilizado, mas pode trabalhar como um indicador de que a emulsão é apropriada ou não para emprego em MRAF. Essa metodologia pode auxiliar, nos casos em que forem constatados problemas na cura da massa, no impedimento da aplicação do MRAF com o tipo de ligante adquirido, minimizando assim a possibilidade de haver insucessos na aplicação da técnica.

A metodologia proposta não requer a utilização de materiais específicos. Para a realização do procedimento, necessita-se somente de um recipiente para realização da confecção do MRAF,

um disco metálico de diâmetro aproximado de 30 cm para espalhamento da massa fabricada, um papel toalha para verificação da ruptura da emulsão e outro recipiente com capacidade de 2 litros para armazenamento de água.

A realização do procedimento ocorre da seguinte maneira: de posse da dosagem do MRAF a ser aplicada no campo, pesa-se 300g de agregado para a realização do procedimento. O processo de mistura deve ser realizado e quando finalizado, a massa será vertida sobre o disco metálico de modo que a espessura da mesma fique em torno de 1 cm. Em seguida, a massa é deixada curando ao ar livre durante 10 minutos. Posteriormente, coloca-se o papel toalha sobre a amostra, faz-se uma leve pressão sobre a mesma durante três segundos e observa-se se houve absorção de emulsão asfáltica pelo papel toalha. Repete-se esse procedimento para os tempos de 15 e 20 minutos passados após a confecção da mesma. Na verificação de 20 minutos, é desejável que não haja mais a absorção de emulsão asfáltica pelo papel, indicando que houve a ruptura da emulsão e que seu processo de cura se encontra em uma fase mais adiantada.

Finalizada a verificação de absorção da emulsão de 20 minutos, enche-se o recipiente com capacidade de 2 litros com água e após 25 minutos de mistura, ou seja, 5 minutos após a última verificação feita com o papel toalha, verte-se os 2 litros de água sobre a amostra durante um período de 30 segundos a uma altura de aproximadamente 40 cm. Finalizado o derramamento de toda a água, verifica-se o estado em que se encontra a mesma. Em um ligante de qualidade, é desejável que durante a realização desse derramamento de água não ocorra a desagregação do MRAF, indicando que o processo de cura está avançado, ou seja, que o ligante aplicado é apropriado para a execução da técnica. A Figura 12 ilustra a realização do método aqui proposto.



Figura 12: Realização da metodologia com um ligante adequado

Visando mostrar a diferença de comportamento das misturas com os dois tipos de ligante, realizou-se o procedimento mostrado na Figura 12 com o MRAF sendo feito com a emulsão de ruptura lenta. Pode-se constatar que passados 20 minutos da moldagem da amostra, a absorção da emulsão ainda permanece, indicando que o processo de cura está muito lento, ou seja, existe a possibilidade do ligante aplicado não ser o adequado para o MRAF. Com 25 minutos de cura

da massa, repetiu-se o mesmo procedimento de verter os 2 litros de água. A realização do procedimento está ilustrada na Figura 13.



Figura 13: Realização da metodologia com um ligante inadequado

Sabe-se na prática que em dias ensolarados e de temperaturas elevadas o tempo de cura do revestimento é menor, especialmente em aplicações com a emulsão do tipo RL1C. Nessa pesquisa, o comparativo dos 2 ligantes foi realizado simultaneamente visando evitar que qualquer alteração das condições climáticas pudesse ter influência.

Após a realização do procedimento, verificou-se uma grande desagregação do MRAF quando se utilizou a emulsão de ruptura lenta como ligante, fato que não ocorreu quando foi empregado o ligante correto. Baseado nos resultados obtidos durante a realização desse trabalho, pode-se afirmar que esse procedimento, apesar de sua simplicidade, pode ser adotado nos canteiros de obras de MRAF como uma metodologia alternativa que atua como um indicador da qualidade do ligante empregado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão deste trabalho ressalta a importância da escolha do ligante adequado em aplicações de MRAF. Com relação ao desgaste superficial, as amostras confeccionadas com a emulsão de ruptura controlada do tipo RC1C-E atenderam com folga aos requisitos das normas vigentes. Quando ocorreu somente troca da emulsão para o de ruptura lenta, mesmo que os parâmetros de caracterização da mesma para emprego em MRAF tenham sido atendidos, verificou-se uma elevação do desgaste em níveis superiores aos permitidos nas especificações de serviço do MRAF.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram demonstrados os potenciais danos causados pelo emprego de um ligante inadequado em serviços de MRAF. Os resultados dos ensaios de coesão também podem explicar o motivo do insucesso, uma vez que não houve condições de se garantir uma liberação segura ao tráfego dentro do tempo estabelecido pelas especificações do MRAF. Observou-se que não se tinha condições favoráveis para liberação em um período de mais de quatro horas após a confecção da massa, ao contrário do que ocorreu quando utilizou-se o ligante correto, cujo tempo de liberação foi de uma hora sem causar danos ao revestimento.

Além disso, foi apresentada uma metodologia simplificada de campo com o intuito de identificar possíveis problemas com os ligantes empregados em MRAF. A execução da metodologia é simples, rápida, apresentou resultados satisfatórios e tem condições de ser aplicada no campo sem maiores dificuldades. Recomenda-se que a aplicação da metodologia seja realizada para todo carregamento de emulsão que chegue a obra.

Como foi citado anteriormente, essa metodologia não deve ser considerada como um indicador único de aceitação do ligante entregue na obra. Para determinação do tempo de cura do MRAF com precisão, o ensaio de determinação da coesão e características da cura pelo coesímetro deve ser realizado. Ao contrário das especificações americanas, o DNIT não considera em suas especificações os parâmetros de coesão da mistura. Devido a importância que esse ensaio representa na determinação da compatibilidade entre ligante e agregado, e mesmo na determinação da qualidade do ligante empregado, sugere-se que o órgão considere essa norma em projetos futuros de MRAF, visando obter resultados mais positivos e menos insucessos nas aplicações de MRAF nas rodovias brasileiras.

Agradecimentos

Os autores agradecem: (i) à ANP pelo apoio financeiro através de seu Programa Institucional de Formação de Recursos Humanos PRH/31 concedido na época da pesquisa; (ii) ao CNPq pelo fomento da pesquisa através do Edital Universal Processo 432432/2016-17; (iii) à Petrobras pelo apoio financeiro através da Rede Temática de Asfaltos e (iv) À empresa Asfaltos Nordeste e, especialmente, ao seu chefe de laboratório na pessoa do Sr. Sérgio Alexandre (*in memorian*) que auxiliou diretamente no desenvolvimento da metodologia proposta nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABEDA (2010) *Manual Básico de Emulsões Asfálticas*. Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos. Rio De Janeiro, RJ.
- ABNT (2003) *NBR 14948 – Microrrevestimentos asfálticos a frio modificados por polímero – Materiais, execução e desempenho*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro
- Castro, P. B. (2011). Avaliação de Agregados da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação em Microrrevestimento Asfáltico a Frio. *Monografia*. Fortaleza, Ceará, Brasil. Universidade Federal do Ceará.
- Castro, P. B. (2014). Avaliação do Emprego de Agregados Alternativos em Microrrevestimento Asfáltico. *Dissertação de Mestrado*. Fortaleza, Ceará, Brasil. Universidade Federal do Ceará.
- Ceratti, J. A. P. e Reis, R. M. M. (2011). *Manual de Microrrevestimento Asfáltico a Frio*. Instituto Pavimentar. Rio de Janeiro.
- DNIT (2005) *DNIT ES 035 – Micro Revestimento Asfáltico a Frio com Emulsão Modificada por Polímero – Especificação de Serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- FHWA (1994) *Surface Rehabilitation Techniques: State of the Practice Desing, Construction and Performance of Micro-Surfacing*. Washington. Estados Unidos.
- ISSA (2010) *A-143 Recommended Performance Guideline for Micro Surfacing*. International Slurry Surfacing Association. Annapolis, MD. Estados Unidos.
- Reis, M. (2005) Um Estudo da Influência da Granulometria dos Agregados no Desempenho do Microrrevestimento Asfáltico a Frio quanto ao Deslocamento Lateral e Vertical. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, SP.
- Vale, A. F. (2003); Estudo e Aplicação de Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF). *Dissertação de Mestrado*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, POLI-USP. São Paulo, SP.
- Vale, A. F.; SUZUKI, C. Y. (2004); Desempenho do Microrrevestimento Asfáltico. *35ª ABPv, Reunião Anual de Pavimentação*. Rio de Janeiro, RJ.
- Santo, N. R. E.; Reis, R. M. M. (1999) *Microrrevestimento Asfáltico a Frio*. Uma Inovação Tecnológica para Tratamentos de Superfície.
- Silva, E. A.; Miranda, J. L. Y; Figueiredo, G. W.; Silva Junior; E. A. (2009). Micro Revestimento Asfáltico com Polímero – SBS, Um Caso Na Es-440, Região Norte De Espírito Santo, Brasil. *XV CILA – Congresso Ibero-Latino Americano do Asfalto*. Lisboa. Portugal. 2009.
- Vasconcelos, M. A. G. (2013). Estudo sobre o Emprego do Cape Seal em Revestimentos Rodoviários do Estado do Ceará. *Dissertação de Mestrado*. Fortaleza, Ceará, Brasil. Universidade Federal do Ceará.

(1) Pedro Bastos de Castro (pedrodcastro@yahoo.com.br)

(2) Suelly Helena de Araújo Barroso (suelly@det.ufc.br)