

**IAG455-06-2013**  
**AVALIAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE DOSAGEM DE MISTURAS**  
**ASFÁLTICAS RECICLADAS MORNAS COM DIFERENTES**  
**PERCENTUAIS DE FRESADO**  
**EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DOSAGEM DE MEZCLAS**  
**ASFÁLTICAS RECICLADAS TIBIAS CON DIFERENTES**  
**PORCENTUALES DE FRESADO.**

Jardel A. de Oliveira<sup>1</sup>  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza, Brasil  
jardel@det.ufc.br<sup>1</sup>

Henrique P. P. Cavalcanti<sup>2</sup>,  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza, Brasil  
henriqueppcavalcanti@hotmail.com<sup>2</sup>

Verônica T. F. Castelo Branco<sup>3</sup>  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza, Brasil  
veronica@det.ufc.br

Jorge B. Soares<sup>4</sup>  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza, Brasil  
jsoares@det.ufc.br

## **Resumen**

En Brasil, la técnica de fresado se popularizó bastante en la última década, generando un volumen elevado de material de reciclado. Este material, sin recibir un destino adecuado, se convierte en un pasivo ambiental. El fresado puede ser reciclado, por ejemplo, en la producción de Concretos Asfálticos (CAs), dando origen a la Mezclas Asfálticas Recicladadas en Caliente (MARQs). Las altas temperaturas que los CAs exigen para presentar trabajabilidad aceptable perjudican el medio ambiente, si se tiene en cuenta que el Cemento Asfáltico del Petróleo (CAP), cuando se calienta libera vapores asfálticos, los cuales pueden ser sustancias nocivas cuando son inhaladas, así como favorecer el efecto invernadero. Para mitigar estos males y propiciar un menor consumo energético durante la producción se puede hacer uso de las Mezclas Asfálticas Tibias (MAMs), las cuales son producidas a menores temperaturas que las que normalmente son empleadas en los CAs. Es posible utilizar de las dos técnicas que se mencionan aquí, dando origen a las Mezclas Asfálticas Recicladadas Tibias (MARMs). Este trabajo tiene como objetivo evaluar el proceso de dosificación de las MARMs. Para esto, se dosificaron en laboratorio 10 mezclas asfálticas, siendo una mezcla de referencia, tres MAMs con 20, 30 y 40°C de reducción de temperatura, tres MARQs con 15, 35, y 50% de material reciclado en su composición y tres

MARMs con los mismos porcentajes de fresados citados anteriormente y con una reducción mayor de temperatura (40°C). Independientemente de la presencia de material reciclado y de las reducciones de temperatura, todas las mezclas presentaron volumen de vacíos (Vv) y valores de resistencia a la tracción (RT) aceptables, conforme con lo especificado por el Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes (DNIT). Es importante destacar que las MARMs presentaron un contenido ligeramente más elevado de CAP cuando fueron comparadas con las MARQs, posiblemente por los menores niveles de temperatura empleados en sus procesos de dosificación.

## Resumo

No Brasil, a técnica de fresagem popularizou-se bastante na última década, gerando um volume elevado de material fresado. Esse material, não recebendo um destino adequado, se torna um passivo ambiental. O fresado pode ser reciclado, por exemplo, na produção de Concretos Asfálticos (CAs), dando origem as Misturas Asfálticas Recicladas a Quente (MARQs). As altas temperaturas que os CAs exigem para apresentar trabalhabilidade aceitável prejudicam o meio ambiente, tendo em vista que o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), quando aquecido, libera fumos de asfalto. Tais substâncias são nocivas quando inaladas, além de favorecer o efeito estufa. Para mitigar estes malefícios e propiciar um menor consumo energético durante a produção, pode-se fazer uso das Misturas Asfálticas Mornas (MAMs), produzidas a temperaturas menores do que as normalmente empregadas nos CAs. É possível fazer uso conjunto das duas técnicas aqui mencionadas, dando origem as Misturas Asfálticas Recicladas Mornas (MARMs). O presente trabalho tem como objetivo avaliar o processo de dosagem das MARMs. Para tal, foram dosadas em laboratório dez misturas asfálticas, sendo uma mistura de referência, três MAMs com 20, 30 e 40°C de diminuição de temperatura, três MARQs com 15, 35 e 50% de fresado em sua composição e três MARMs com os mesmos percentuais de fresado citados anteriormente e com a maior diminuição de temperatura alcançada (40°C). Independente da presença de fresado e das diminuições de temperatura, todas as misturas apresentaram volume de vazios (Vv) e valores de resistência a tração (RT) aceitáveis, de acordo com o especificado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). É importante ressaltar que as MARMs apresentaram um consumo levemente mais elevado de ligante asfáltico quando comparadas com as MARQs, possivelmente pelos níveis menores de temperatura empregadas nos seus processos de dosagem.

## INTRODUÇÃO

A sociedade atual apresenta um aumento dos níveis de consumo de produtos e de serviços, contribuindo, assim, para uma maior demanda de novas matérias primas, bem como para uma maior destruição dos recursos naturais existentes. Objetivando-se um crescimento sustentável, faz-se necessário uma busca constante por novas matérias primas e por meios de produção mais eficientes, que minimizem os desperdícios e os danos causados, contribuindo para que os bens naturais não se esgotem.

O material oriundo dos processos de fresagem de revestimentos asfálticos também pode ser citado como um resíduo a ser reaproveitado em misturas asfálticas. Vários autores investigaram o uso desse material em misturas asfálticas, podendo-se citar: Castro Neto (2000), Bennert e Dongré (2010), Motta (2011), Oliveira *et al.* (2012), dentre outros.

Com o surgimento da técnica de fresagem na década de 1970, e com a chegada e popularização desse processo no Brasil a partir da década posterior, essa atividade começou a gerar um volume cada vez maior de passivo ambiental (material fresado) (Bonfim, 2011). Com o aumento do uso

dessa tecnologia, e, por conseguinte, com o aumento da quantidade de material fresado, se fez necessário o desenvolvimento de processos que pudessem reutilizar tal material, tendo em vista que a simples estocagem acarretaria em gastos financeiros desnecessários e que o descarte traria uma série de danos ao meio ambiente. Tais misturas recicladas recebem o nome de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente (MARQs). Diversos autores apontam vantagens da reciclagem do material fresado. Pode-se citar como exemplo: diminuição do passivo ambiental gerado pelo processo de fresagem, mitigação do extrativismo de matérias primas virgens, economia na compra de insumos como o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) e os agregados que são normalmente adotados na pavimentação asfáltica e a economia com o transporte de materiais, pois normalmente as operações de fresagem ocorrem mais próximas dos locais que poderão receber o material fresado se comparadas a localização das pedreiras.

Em concretos asfálticos o aquecimento do CAP libera vapores nocivos. Após a liberação, esses vapores perdem calor e se transformam nos fumos de asfalto, que são inalados por quem tem contato direto com tais substâncias de reconhecido poder carcinogênico (Niosh, 2000; MSB, 2011). Nota-se, com isso, a importância do desenvolvimento de técnicas que propiciem a utilização dos CAPs sem que este traga este tipo de prejuízo. As MAMs, cuja origem é de 1995 (Al-Rawashdeh, 2008) podem contribuir para este fim. Algumas outras características que também colaboram para o uso dessa técnica, incluem: redução do consumo de energia na produção dos CAs, diminuição dos custos com controle de emissões e a possibilidade de instalação de usinas de asfalto em áreas onde normalmente esses equipamentos são proibidos (Hampton, 2003; Hurley e Prowell, 2006; Oliveira *et al.*, 2012).

A técnica das MAMs pode ter seus benefícios aumentados quando esta é aplicada juntamente com o uso de material fresado, ou seja, conjuntamente com a técnica de reciclagem. Segundo Oliveira *et al.* (2012), vários autores estudam as técnicas de MARQ e de MAM separadamente, porém o conhecimento sobre a junção dessas duas técnicas ainda se encontra em sua fase inicial. Com a junção das duas técnicas, MARQ e MAM, origina-se a técnica aqui denominada de MARM. Entre os autores que já investigaram essa técnica, pode-se citar: Bennert e Dongré (2010) e Oliveira *et al.* (2012). De acordo com a literatura, as MARMs podem ser usadas com sucesso (desempenho mecânico similar se comparadas com misturas asfálticas convencionais) em laboratório e em campo com pouca ou nenhuma modificação nos equipamentos normalmente utilizados para executar revestimentos com CAs convencionais. Na maioria dos casos é necessário apenas a aquisição do aditivo para MAM (podendo inclusive ser água).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar um processo de dosagem das MARMs, conforme as seguintes etapas: (i) dosagem em laboratório de uma mistura referência, sem nenhuma diminuição de temperatura e sem nenhum percentual de material fresado em sua composição, (ii) dosagem de três MAMs, respectivamente, com 20, 30 e 40°C de diminuição de temperatura em todas as etapas do processo de dosagem, (iii) dosagem de três MARQs com 15, 35 e 50% de fresado em sua composição e (iv) dosagem de três MARMs com as mesmas diminuições de temperatura das MAMs e os mesmos percentuais de fresado das MARQs. É importante citar que em todas as dosagens que contem fresado esse material foi aquecido a 110°C e três MARMs com os mesmos percentuais de fresado citados anteriormente e com a maior diminuição de temperatura alcançada (40°C). Com o a conclusão do processo de todas as dosagens os parâmetros volumétricos das mesmas foram analisados, bem como seus valores de RT. Com exceção da Relação Betume-Vazios (RBV) que em alguns casos se apresentou menor do que o estabelecido pelo DNIT (estes sabidamente elevados), os demais parâmetros estão dentro dos limites estabelecidos por este órgão.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), Aditivo de MAM e Modificação do CAP**

Para esta pesquisa foi adotado um CAP 50/70, refinado pela Lubnor – Petrobras. Já como aditivo de MAM foi adotado um aditivo surfactante. Segundo Quimigel (2010), este aditivo age melhorando a trabalhabilidade das misturas asfálticas, possibilitando uma redução nas Temperaturas de Compactação e Usinagem (TUCs) em até 40°C. Com a utilização desse aditivo também é possível reduzir o consumo energético durante o processo de usinagem do CA em até 56% (Quimigel, 2010). Neste estudo foi utilizado, para executar a mistura do aditivo de MAM ao CAP, um misturador de alto cisalhamento da marca Silverson® e modelo L4R. Para garantir a homogeneização do aditivo, a temperatura do CAP foi estabilizada em 150°C. Em seguida foi adicionado 0,3% de aditivo em relação à massa do CAP. Essa mistura foi submetida à uma rotação de 1.500rpm por 20 minutos. Tal percentual de aditivo foi usado após se verificar na literatura que este é um teor normalmente empregado para a produção de MAMs, como, por exemplo, em Motta (2011).

### **Agregados e Fresado**

Para desenvolver o programa experimental foram escolhidos agregados minerais provenientes da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF): brita 1/2", brita 3/8" (ambas com origem fonolítica), pó de pedra (origem gnáissica) e areia de campo. Tais agregados foram caracterizados com relação à distribuição granulométrica por peneiramento (DNER-ME 083/98), absorção e densidade do agregado gráúdo (DNER-ME 081/98), densidade real do agregado miúdo (DNER-ME 084/95), abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/98) e índice de forma (DNER-ME 086/94). Já o material fresado utilizado nesta pesquisa foi fornecido pela empresa Insttate Engenharia Ltda. tendo sido oriundo do processo de fresagem de avenidas da RMF e da britagem de blocos de revestimento asfálticos extraídos de vias também da RMF com o auxílio de rompedores hidráulicos. Esses blocos recebem o nome de Pavimento Asfáltico Demolido (PAD) e são oriundos de serviços executados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). Estes materiais passaram por um processo de britagem para homogeneização da granulometria. O material fresado resultante da homogeneização das duas fontes citadas de material reciclado teve o teor de betume determinado (DNER-ME 053/94), além da granulometria (DNER-ME 083/98) e da densidade real (DNER-ME 084/95).

### **Misturas Asfálticas**

Para a realização das dosagens das misturas asfálticas abordadas nesse trabalho a seguinte metodologia foi adotada. Inicialmente, foi definida uma curva granulométrica de projeto que se enquadrasse na Faixa C do DNIT (DNIT 031/2006). Em seguida foi estimado um Teor Central (TC) de ligante asfáltico, além de teores próximos ao TC ( $\pm 1,0$  e  $\pm 0,5\%$ ). Foram executadas sequências de pesagens a fim de se obter os parâmetros volumétricos e os teores de projetos de ligante asfáltico. O teor de projeto deve ser o teor que proporcione um Volume de Vazios (Vv) de  $4\% \pm 0,4\%$ . Por sua vez a RBV deve apresentar valores entre 75 e 82%. Para cada teor de ligante estimado determinaram-se a Densidade Aparente ( $G_{mb}$ ), além da Densidade Máxima Medida ( $G_{mm}$ ). Para a execução da mistura de referência (CA convencional) adotada o ligante asfáltico

foi aquecido à temperatura de 160°C e os agregados à 175°C. Estas temperaturas foram obtidas através da curva de viscosidade *versus* temperatura do ligante apresentada mais adiante. A temperatura do ligante na hora de ser misturado ao agregado deve ser tal que a sua viscosidade esteja situada entre 0,15 e 0,19Pa.s e entre 0,26 e 0,3Pa.s no momento da compactação..

Para a execução desse trabalho foram dosadas dez misturas asfálticas, todas a luz da metodologia de dosagem Superpave. Inicialmente, foi dosada a mistura asfáltica de referência (Mistura I), mistura convencional, confeccionada a quente e sem a adição de material fresado em sua composição. As TUCs adotadas nessa mistura foram 155 e 150°C, para os processos de mistura e compactação, respectivamente. Em seguida foram dosadas três MAMs com diminuições de, respectivamente, 20, 30 e 40°C (Misturas Ti, Tii e Tiii), as diminuições de temperaturas aqui mencionadas são aplicadas nas temperaturas de todas as etapas do processo de dosagem e em todos os agregados convencionais. O ligante asfáltico não passou por nenhuma diminuição de temperatura em nenhuma das dosagens, já o material fresado foi aquecido a 110°C (antes de ser misturado aos demais materiais) em todas as misturas que fizeram uso desse material. Essas três misturas foram dosadas e seus teores de ligante asfáltico e seus parâmetros volumétricos foram comparados. Com essas análises, as temperaturas a serem empregadas na confecção das MARM foram escolhidas. As MAMs aqui descritas, Misturas de Ti à Tiii apresentam a mesma composição de agregados adotados também na mistura de referência. A Tabela 1 apresenta as temperaturas empregadas na Mistura I (mistura de referência) e nas MAMs.

**Tabela 1: Temperaturas empregadas nas dosagens da mistura de referência e nas MAMs**

| Misturas | Diminuição de Temperatura (°C) | Temperaturas (°C) |         |                |             |
|----------|--------------------------------|-------------------|---------|----------------|-------------|
|          |                                | Agregados         | Mistura | Envelhecimento | Compactação |
| I        | -                              | 175               | 155     | 150            | 150         |
| Ti       | -20                            | 155               | 135     | 130            | 130         |
| Tii      | -30                            | 145               | 125     | 120            | 120         |
| Tiii     | -40                            | 135               | 115     | 110            | 110         |

Em seguida, foram dosadas três MARQs com, respectivamente, 15, 35 e 50% de fresado em suas composições (Misturas II, III e IV). Após essa etapa, foram dosadas três MARMs com os mesmos percentuais de fresado utilizados nas MARQs descritas anteriormente e com a diminuição de temperatura (-40°C) determinada com as dosagens das MAMs (Misturas de Ti à Tiii), dessa forma dando origem as Misturas V, VI e VII. É importante ressaltar que as granulometrias das MARQs e das MARMs são iguais quando se mantêm constante as quantidades de fresado durante as dosagens. A Tabela 2 apresenta um resumo das dosagens realizadas nesse trabalho.

**Tabela 2: Dosagens executadas**

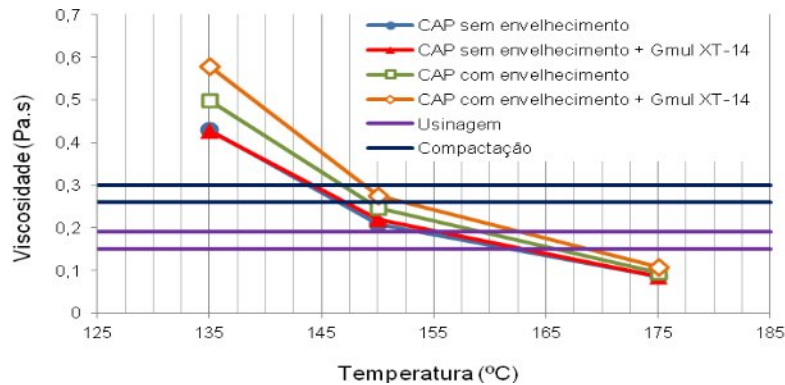
| Mistura                        | I          | Ti   | Tii  | Tiii | II   | III | IV | V    | VI | VII |
|--------------------------------|------------|------|------|------|------|-----|----|------|----|-----|
| Tipo de Mistura                | Referência | MAM  |      |      | MARQ |     |    | MARM |    |     |
| Diminuição de Temperatura (°C) | -          | - 20 | - 30 | - 40 | -    |     |    | - 40 |    |     |
| % Fresado                      | -          | -    |      |      | 15   | 35  | 50 | 15   | 35 | 50  |

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com relação ao CAP, o mesmo é classificado por penetração como 50/70 de acordo com as especificações brasileiras (ANP, 2005) e possui PG 70-28 (ASTM 6373/2007). Foram executados ensaios em amostras desse material sem e com envelhecimento de curto prazo (RTFOT) e em amostras sem e com o aditivo de MAM. A Tabela 3 traz os resultados dos ensaios

de ponto de amolecimento e de penetração para essas amostras. Já a Figura 1 apresenta as curvas de viscosidade *versus* temperatura das amostras de CAP puro e do CAP modificado pelo aditivo de MAM, em amostras sem e com envelhecimento.

**Figura 1: Curvas de viscosidade *versus* temperatura do CAP puro e do CAP modificado pelo aditivo de MAM, sem e com envelhecimento**



**Tabela 3: Ponto de amolecimento e penetração das amostras de CAP com e sem aditivo de MAM**

| Ponto de Amolecimento (°C) |                        |    |    |    |                        |    |        |    |    |    |
|----------------------------|------------------------|----|----|----|------------------------|----|--------|----|----|----|
| Tipo de amostra            | CAP sem aditivo de MAM |    |    |    | CAP com aditivo de MAM |    |        |    |    |    |
|                            | Testes                 |    |    |    | Média                  |    | Testes |    |    |    |
| Sem envelhecimento         | 51                     | 52 | 52 | 52 | 52                     | 52 | 44     | 44 | 44 | 44 |
| Com envelhecimento         | 54                     | 55 | 55 | 55 | 55                     | 55 | 49     | 50 | 50 | 45 |

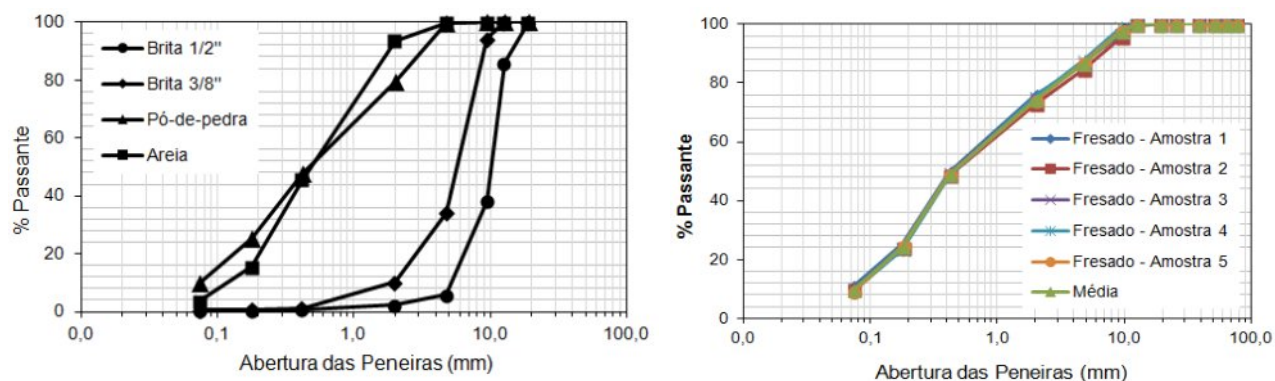
| Penetração (0,1mm) |        |    |    |   |       |    |        |    |    |    |
|--------------------|--------|----|----|---|-------|----|--------|----|----|----|
| Tipo de amostra    | Testes |    |    |   | Média |    | Testes |    |    |    |
|                    | Testes |    |    |   | Média |    | Testes |    |    |    |
| Sem envelhecimento | 61     | 57 | 49 | - | 56    | 56 | 78     | 74 | 78 | 76 |
| Com envelhecimento | 43     | 42 | 42 | - | 42    | 42 | 72     | 67 | 68 | 69 |

Observando-se a

percebe-se que a presença de 0,3% do aditivo de MAM (Gmul XT-14) não alterou a curva de viscosidade *versus* temperatura de forma a impactar na determinação das TUCs quando se observa as amostras sem envelhecimento. Já quando se analisa as amostras que sofreram o envelhecimento de curto prazo simulado em laboratório (RTFOT) observa-se um aumento da viscosidade bem acentuado na amostra com a presença do aditivo de MAM.

Por sua vez os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados e do fresado são apresentados na Figura 2 e na Tabela 4. Além dos ensaios, que tem seus resultados expostos na **Error! Reference source not found.**, foi realizado o ensaio de adesividade ao ligante asfáltico nos agregados graúdos, todas as amostras apresentaram resultados insatisfatórios. Já no que diz respeito ao material fresado, o teor médio de ligante asfáltico das amostras foi equivalente a 5,9%.

**Figura 2: Curvas granulométricas dos agregados e do fresado utilizados na pesquisa**



**Tabela 4: Caracterização dos agregados e do material fresado**

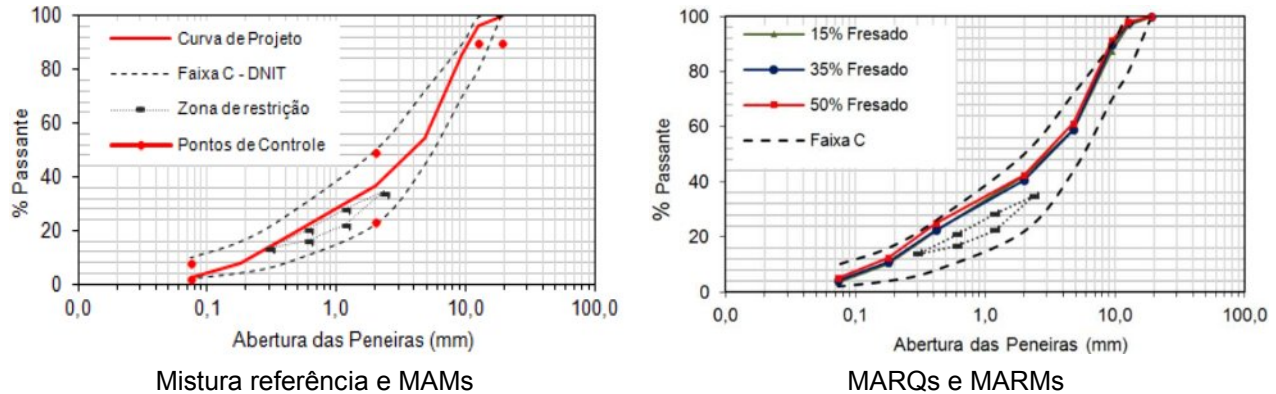
| Agregado                  | Fonte                     | Índice de Forma | Densidade Real | Densidade Aparente | Absorção (%) | Abrasão (%) |
|---------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|--------------------|--------------|-------------|
| Brita 1/2                 | OCS Mineração             | 0,91            | 2,482          | 2,432              | 0,88         | 0,91        |
| Brita 3/8                 |                           | 0,80            | 2,485          | 2,433              | 1,12         | 0,80        |
| Pó de Pedra               | Pyla Pedreira             | -               | 2,726          | -                  | -            | -           |
| Areia de Campo            | Insttale Engenharia Ltda. | -               | 2,634          | -                  | -            | -           |
| Fresado antes da extração |                           | -               | 2,328          | -                  | -            | -           |
| Fresado após à extração   |                           | -               | 2,626          | -                  | -            | -           |

Observando-se a caracterização dos agregados graúdos percebe-se que os valores de densidade real são inferiores quando comparados com agregados provenientes da pedreira MFT (agregados graníticos comumente adotados na RMF), quais sejam: 2,665 e 2,664, respectivamente, para britas 3/4" e 3/8" provenientes dessa pedreira. Acredita-se que esta característica esteja associada ao tipo de mineral (fonólito) que forma os agregados graúdos adotados nessa pesquisa. Para o teste de abrasão *Los Angeles*, as britas apresentaram valores mais baixos (aceitáveis) do que o limite superior aceito pelo DNIT (DNER-ME 035/98) que é de 50%. Para o ensaio de índice de forma as mesmas britas apresentaram valores também satisfatórios considerando que o mínimo aceitável pelo DNIT (DNER-ME 086/94) é de 0,5, o que indica agregados não lamelares e de forma cúbica.

A Figura 3 apresenta a curva granulométrica da Mistura I (mistura de referência) e das MAMs (Misturas de  $T_i$  à  $T_{iii}$ ). Já sobre às MARQs, suas granulometrias foram obtidas somando-se os percentuais de fresado (15, 35 e 50%) em suas composições de agregados e, para a fim de manter os 100% de agregados das misturas, foram retirados os mesmos percentuais de todos os agregados. No entanto, alguns ajustes tiveram que ser feitos nas granulometrias das Misturas IV e V, esses ajustes tinham duas finalidades, quais sejam: (i) manter as curvas enquadradas na Faixa C do DNIT e (ii) manter as três curvas granulométricas o mais próximo possível umas das outras. Considerando que as MARQs e as MARMs têm a mesma composição de agregados (quando se mantém constante os percentuais de material fresado), a Figura 3 apresenta ainda a curva granulométrica dessas seis misturas. Todas as misturas asfálticas mencionadas nessa pesquisa apresentam Tamanho Máximo Nominal (TMN) igual à 12,7mm. A

Tabela 5 traz a composição de agregados e os parâmetros volumétricos das misturas que compõem essa pesquisa.

**Figura 3: Curva granulométrica da Mistura I (mistura de referência) e MAMs (Misturas T<sub>i</sub> à T<sub>iii</sub>) e curva granulométrica das MARQs (Misturas II, III e IV) e das MARMs (Misturas V, VI e VIII)**



**Tabela 5: Composição granulométrica e parâmetros volumétricos de todas as misturas asfálticas**

| Mistura          | Brita 1/2" (%) | Brita 3/8" (%) | Pó de Pedra (%) | Areia de Campo (%) | Fresado | CAP (%) | G <sub>mm</sub> | G <sub>mb</sub> | RBV (%) | V <sub>v</sub> (%) |
|------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|---------|---------|-----------------|-----------------|---------|--------------------|
| I                | 40             | 25             | 20              | 15                 | -       | 5,6     | 2,310           | 2,225           | 76      | 3,7                |
| T <sub>i</sub>   | 40             | 25             | 20              | 15                 | -       | 5,0     | 2,388           | 2,244           | 73      | 4,0                |
| T <sub>ii</sub>  |                |                |                 |                    |         | 5,0     | 2,338           | 2,241           | 72      | 4,1                |
| T <sub>iii</sub> |                |                |                 |                    |         | 5,0     | 2,335           | 2,244           | 74      | 3,9                |
| II               | 34             | 21             | 17              | 13                 | 15      | 4,0     | 2,360           | 2,273           | 71      | 3,7                |
| III              | 26             | 29             | 5               | 5                  | 35      | 3,0     | 2,356           | 2,264           | 63      | 3,9                |
| IV               | 20             | 30             | 0               | 0                  | 50      | 2,5     | 2,351           | 2,280           | 65      | 3,0                |
| V                | 34             | 21             | 17              | 13                 | 15      | 4,5     | 2,344           | 2,252           | 71      | 3,9                |
| VI               | 26             | 29             | 5               | 5                  | 35      | 3,5     | 2,339           | 2,233           | 63      | 4,5                |
| VII              | 20             | 30             | 0               | 0                  | 50      | 2,5     | 2,346           | 2,260           | 60      | 3,7                |

A mistura de referência apresentou valores de todos os índices de acordo com as especificações do órgão que regulamenta o setor de pavimentação no Brasil (DNIT). Observando os teores de projeto das MAMs (Misturas T<sub>i</sub>, T<sub>ii</sub> e T<sub>iii</sub>), percebe-se que todos apresentaram o mesmo valor independente das TUCs empregadas. Os parâmetros RBV, V<sub>v</sub> e G<sub>mb</sub> também se mantiveram aproximadamente constantes. Já a G<sub>mm</sub> apresentou uma variação considerável (0,05) na Mistura T<sub>i</sub> (-20°C) em comparação com as demais MAMs, que mantiveram praticamente com o mesmo valor, segundo Vasconcelos *et al.* (2003) uma variação de 0,04 na G<sub>mm</sub> pode acarretar em mudanças significativas (aproximadamente 0,5%) no teor de projeto. Observando-se as MARQs e as MARMs percebe-se que os percentuais de agregados que formam as suas granulometrias são iguais, logo, o que difere esses dois grupos de dosagens é a presença do aditivo de MAM modificando o ligante asfáltico e as TUCs. Analisando-se os teores de projeto encontrados para as MARQs e as MARMs percebe-se um consumo de CAP sutilmente mais elevado para as MARMs (0,5%) e menores valores de densidades (G<sub>mb</sub> e G<sub>mm</sub>). Percebe-se uma diminuição do consumo de ligante asfáltico nas misturas que fazem uso de fresado, sendo que esta diminuição é maior nas misturas que apresentam um maior percentual desse material. Acredita-se que o ligante asfáltico presente no fresado esteja se somando ao CAP virgem.

## CONCLUSÕES



O presente trabalho teve como objetivo avaliar o procedimento de dosagem de MARMs com o uso de diferentes percentuais de material fresado. A partir dos resultados encontrados verificou-se que as MARMs tem um potencial promissor, tendo em vista que as mesmas apresentaram características volumétricas similares às MARQs e a mistura usada como referência neste trabalho. Tais parâmetros volumétricos foram alcançados sem a necessidade de mudanças nos equipamentos e ou esforço de compactação utilizados para a produção dessas misturas e com uma diminuição no consumo de ligante asfáltico e agregados virgens, bem como com a futura diminuição do consumo energético durante o processo de produção das misturas asfálticas devido a redução das TUCs.

O aditivo para MAM adotado na pesquisa não alterou a curva de viscosidade *versus* temperatura do CAP, por se tratar se um aditivo tensoativo surfactante. Tal comportamento está de acordo com a literatura, no entanto, esse comportamento foi observado somente quando se analisou as amostras sem envelhecimento. Já amostras que sofreram o envelhecimento de curto prazo simulado em laboratório não se comportaram da mesma forma, tendo em vista que a amostra que continha o aditivo de MAM se mostrou mais envelhecida do que a amostra sem este aditivo, sobretudo quando se analisa as temperaturas menores (temperaturas próximas à 135°C). Dessa forma, é possível que as MAMs que usem aditivo surfactante apresentem uma maior rigidez após alguns anos de serviço se comparadas aos seus respectivos CAs dosados sem o uso do aditivo de MAM. Tal característica pode aumentar a capacidade das MAMs e MARMs de resistirem à deformação permanente e pode ser um argumento contrário aos autores que comumente relacionam essas misturas (MAMs e MARMs) com baixa capacidade de resistir à deformação permanente, justamente devido ao menor aumento de rigidez ocasionado pelo menor envelhecimento.

As MAMs foram dosadas com o CAP modificado por 0,3% de aditivo de MAM. Todas as tentativas de se obter parâmetros volumétricos (Vv e RBV) apontados como aceitáveis pelo DNIT foram alcançadas independente da diminuição de temperatura empregada, sejam elas: -20, -30 e -40°C. Dessa forma, a diminuição de temperatura empregada nas demais análises do presente trabalho foi de 40°C.

As MARQs e MARMs apresentaram valores inferiores aos apontados pelo DNIT para o RBV para a faixa de trabalho adotada (Faixa C). Tal fato pode ser apontado como positivo, tendo em vista que é sabido que os valores apontados pelo DNIT para este parâmetro conduzem a misturas asfálticas que exige uma quantidade além da necessária de CAP, o que pode comprometer a segurança para os casos onde ocorrem o processo de exsudação, favorecer a ocorrência de deformação permanente ou ainda promover um consumo de CAP desnecessário o que aumentaria os gastos na produção da mistura.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Lubnor/Petrobras, Insttale Engenharia Ltda pelos materiais utilizados na pesquisa e à Capes pela bolsa de mestrado cedida ao primeiro autor e ao CNPq pelas bolsas cedidas aos três últimos autores.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Al-Rawashdeh, A.S. Performance assessment of warm mix asphalt (WMA) pavements. Dissertação de mestrado. Russ College of Engineering and Technology of Ohio University, 2008.

- ANP, Resolução ANP Nº 19. Regulamento técnico Nº 3/2005. Agência Nacional do Petróleo, 2005.
- ASTM D6373 – Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder. ASTM International, West Conshohocken, 2007.
- Bennert, T.; Dongré, R. A backcalculation method to determine “effective” asphalt binder properties of rap mixtures. In: 89th TRB – Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2010.
- Bernucci, L.B.; Motta, L.M.; Ceratti, J.A.P.; Soares, J.B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro – RJ, 2007.
- Bonfim, V. Fresagem de pavimentos asfálticos. São Paulo – SP, 2011.
- Castro Neto, A.M. Proposta de projeto de dosagem de concreto betuminoso reciclado a quente. São Paulo, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica / USP – Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo – SP, 2000.
- DNER-ME 035/98: Agregado – Determinação da abrasão “*Los Angeles*”. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens, 1998.
- DNER-ME 053/94: Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens, 1994.
- DNER-ME 081/98: Agregado – Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens, 1998.
- DNER-ME 083/98: Agregado – Análise granulométrica. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens, 1998.
- DNER-ME 084/95: Agregado miúdo – Determinação da densidade real. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens, 1995.
- DNER-ME 086/94: Agregado – Determinação do índice de forma. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens, 1994.
- DNIT-ES 031/06: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006.
- Hampton, T. U.S. Studies warm-mix asphalt methods: NAPA, european producers to sponsor laboratory research effort. Acessado em: <http://enr.construction.com/products/newproducts/archives/030428.asp>, abril de 2012. 2003.
- Hurley, G. C.; Prowell, B. D. Evaluation of evotherm for use in warm mix asphalt. In: National center for asphalt technology, 2006.
- Motta, R.S. Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e de consumo energético. São Paulo, Tese de Doutorado, Escola Politécnica / USP – Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo – SP, 2011.
- MSB – Ministério da Saúde do Brasil. Doenças relacionadas ao trabalho: manual de procedimentos para os serviços de saúde. ISBN: 85-334-0353-4, Brasília – DF, 2001. Disponível em: [http://dtr2001.saude.gov.br/editora/produtos/livros/popup/02\\_0388.htm](http://dtr2001.saude.gov.br/editora/produtos/livros/popup/02_0388.htm). Acessado em: 11/11/2011.

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health. Health effects of occupational exposure to asphalt, 2000.

Oliveira, A.R.M.; Silva, H.M.R.D; Abreu, L.P.F.; Gonzalez-Leon, J.A. The role of a surfactant based additive on the production of recycled warm mix asphalts – Less is more. Construction and Building Materials, 2012.

Quimigel – Divisão Química. Produtos e mercados – aditivos para asfalto. <http://www.quimigel.com.br/br/detalhes.php?codigo=5#mostrar>, acessado em:26/10/2012, 2010

Vasconcelos, K.L. ; Soares, J.B.; Leite, L.M. Influência da Densidade Máxima Teórica na Dosagem de Misturas Asfálticas. *In*: XII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2003, Rio de Janeiro-RJ, 2003.