

AValiação LABORATORIAL DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE AMOSTRAS DE PISTA COM MISTURAS RECICLADAS A FRIO COM EMULSÃO

Amanda Helena Marcandali da Silva

Grupo OHL Brasil

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Liedi Legi Bariani Bernucci

Ana Luisa Aranha

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

José Mario Chaves

Grupo OHL Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta a avaliação do módulo de resiliência de misturas recicladas a frio com emulsão, a partir de corpos-de-prova extraídos de pista. A execução em campo variou em relação aos métodos, sendo o primeiro executado in situ, e o segundo executado em usina móvel com tratamento classificatório dos agregados fresados. Os valores de módulo de resiliência foram obtidos por tração indireta e por compressão triaxial, e comparados com resultados obtidos por retroanálise de medidas defletoométricas de campo. Os resultados indicaram diferenças nas características de resistência da mistura reciclada em função do método de execução; foram observados também os efeitos nas medidas defletoométricas em função da capacidade de suporte das camadas subjacentes às camadas recicladas. O efeito da tensão de confinamento ficou evidente para as misturas ensaiadas a compressão triaxial, revelando que a colocação de camada de revestimento espesso sobre a camada reciclada pode elevar consideravelmente o desempenho do pavimento. O ensaio com aplicação de tração indireta é indicado como parâmetro adequado da relação campo-laboratório, verificado pela retroanálise.

ABSTRACT

This paper presents an evaluation of cold recycling with emulsion resilient modulus, from field specimens. The field execution varied in methodology, one being performed in situ, and the other on a mobile plant, with qualifying treatment of milled aggregate. The resilient modulus values were obtained by indirect traction and axial compression, and were compared with backcalculated results based on field deflections. The results showed differences in resistance characteristics of the recycled mix according to the execution method, the effects were also observed in deflections measurements depending on the bearing capacity of the layers under the recycled layer. The confinement effect was evident on the mixtures tested with tri-axial compression, showing that the placement of a thick surface layer on top of the recycled layer can considerably improve the performance of the pavement. The indirect traction test is indicated as appropriate parameter of the field-laboratory factor, verified by backcalculation.

1. INTRODUÇÃO

A restauração de pavimentos asfálticos deteriorados integra a manutenção da riqueza definida pela rede rodoviária do país, contudo a indústria da pavimentação responde como grande fonte poluidora em diversos aspectos ambientais. As alternativas comumente aplicadas em processos de restauração são compostas pela aplicação de camada de reforço estrutural sobre o pavimento deteriorado, precedido ou não de fresagem. No caso de fresagem para retirada do revestimento antigo, o material deteriorado é frequentemente disposto no meio ambiente, sem tratamento específico, envolvendo custos com transporte e destinação deste material.

Como alternativa a este processo, a reciclagem a frio representa uma série de benefícios, a partir do reaproveitamento dos agregados fresados em substituição aos agregados virgens; a interrupção da disposição do material deteriorado no meio ambiente representa também um aspecto econômico. De acordo com Bernucci et al (2007), reciclar pavimentos asfálticos significa reutilizar misturas asfálticas deterioradas para produção de novas misturas, aproveitando os agregados e ligantes remanescentes. Os agregados usualmente utilizados na

indústria da pavimentação são extraídos de pedreiras, iniciando um ciclo de produção e de transporte com profundos impactos ambientais, sem mencionar ainda os custos destes processos, que segundo o MnDOT (2000), são entre 50 e 60% maiores do que aqueles que contemplem algum tipo de reciclagem.

Entre os benefícios, Alkins et al. (2008) cita a otimização do uso de recursos naturais, redução no consumo de energia, redução na emissão de gases, menor emissão de poluentes, e, portanto, contribuição para melhorias nas questões relativas à saúde, meio ambiente e prevenção de riscos. Existe grande dificuldade em contabilizar os benefícios ambientais e operacionais, apesar desses serem evidentes; esses benefícios refletem-se na escolha por técnicas executivas mais eficientes que têm sido mais cogitadas por agências de transporte, empresas e concessionárias.

A utilização de camadas recicladas a frio com emulsão asfáltica tem sido parte integrante do processo de restauração de rodovias sob concessão do grupo OHL Brasil. Os projetos para implementação desta camada consideram prioritariamente o tráfego e as condições de suporte apresentadas em pista, verificadas a partir de levantamentos de deflexão. Nesta pesquisa são apresentados dados relativos à avaliação de camadas recicladas executadas em três rodovias com tráfego, condições de suporte e condições climáticas distintas.

Misturas recicladas a frio apresentam grandes variabilidades intrinsecamente associadas aos agregados fresados e ao processo de produção, o que frequentemente resulta em misturas de comportamento variável quanto à deformabilidade. O processo de reciclagem in situ, apresenta alta produtividade, contudo as características do material fresado variam conforme o estado de deterioração da camada existente, causando maior variabilidade do material reciclado final. Quando o material fresado é levado para uma usina (podendo ser móvel e estar instalado ao lado da pista) o processo tende a causar menor variabilidade do material reciclado final, por haver um controle granulométrico e a possibilidade de rebitagem.

Como medida de comportamento mecânico da camada reciclada, utiliza-se no Brasil o módulo de resiliência, parâmetro fundamental nos projetos de pavimentos e para avaliação estrutural. Esta pesquisa procurou avaliar os módulos de resiliência das misturas recicladas, obtidos por ensaios em amostras de pista, comparando estes resultados de laboratório com valores obtidos pela retroanálise de medidas de bacia de deflexão em pista com FWD. Equações de desempenho, número estrutural e método de dimensionamento de reforço são parâmetros ainda sem especificação para este material, o que acaba por conduzir a erros e medidas individuais de procedimentos (Motta, 2002).

2. MISTURAS RECICLADAS A FRIO

A restauração por meio de reciclagem configura o reaproveitamento total ou parcial de camada existente submetida a processo de mistura em equipamento apropriado, compondo uma nova mistura homogênea, juntamente com a adição de novos elementos, com o objetivo de reaplicação de camada destinada a resistir aos esforços do tráfego e condições ambientais.

A expansão dos números de projetos de reciclagem de pavimentos no país deve-se especialmente à disponibilidade e à modernização de equipamentos específicos (DNIT, 2006).

A primeira etapa do processo de reciclagem constitui-se na obtenção do material proveniente de pavimentos deteriorados. O processo de fresagem consiste na extração do material do pavimento envelhecido da pista com utilização de máquina fresadora, que desbasta o pavimento em profundidades adequadas, especificadas em projeto (FHWA, 1997).

Nas misturas recicladas, os materiais fresados são os elementos principais, sendo empregados diferentes teores, podendo compor integralmente a mistura, sem qualquer adição de material virgem (ARRA, 2001). A dosagem das misturas deve determinar essa proporção, de modo a alcançar desempenho satisfatório na situação prevista em projeto. O agregado fresado é constituído por grumos de agregados cobertos parcialmente ou integralmente por asfalto envelhecido, o que confere ao material características bastante peculiares devidas à sua composição.

A técnica de reciclagem a frio tem sido largamente utilizada como recurso para atingir metas de contenção do aquecimento global, justamente por apresentar uma série de benefícios diretamente associados. A utilização de emulsão asfáltica reduz a emissão de gases poluentes e garante agilidade na produção das misturas, incluindo a rápida abertura ao tráfego, contudo o período de cura da emulsão até a completa expulsão da água implica em ganhos de resistência significativos após este período. Portanto a colocação de camadas de revestimento sobre a camada reciclada deve respeitar tal período.

3. PRODUÇÃO DE MISTURAS RECICLADAS

A produção de misturas recicladas a frio pode ser realizada em usinas estacionárias, usinas móveis ou *in situ*, cada qual com vantagens e desvantagens. As usinas podem exigir adaptações para atender às condições especiais dos agregados reciclados, mas apresentam simples funcionamento, similar ao das usinas de solos. A produção com apoio de usinas móveis tem sistema similar ao das usinas estacionárias, sendo dispostas nas proximidades dos trechos em execução; estes equipamentos trabalham com sistema de geradores, assegurando independência da rede pública de energia, afirma Pinto (2002).

Reciclagem a frio *in situ* é um processo que leva equipamentos para a pista a ser restaurada e utiliza os materiais extraídos, nesse mesmo local, em uma nova mistura dosada e executada concomitantemente numa sequência iniciada pela fresagem dos pavimentos deteriorados e finalizada com a disposição em pista da mistura reciclada (Liberatori et al., 2005). A reciclagem *in situ* depende da disponibilidade de equipamentos no mercado que sejam adequados a este fim.

Os equipamentos necessários aos processos de reciclagem são fundamentais para o sucesso das técnicas. Por serem equipamentos específicos e diferenciados, geralmente, interferem nos custos das intervenções. Os equipamentos devem atender a questões relativas à espessura de fresagem, largura de pista, capacidade de produção e precisão de dosagem. A disponibilidade de novos equipamentos amplia a possibilidade de reciclar e permite adaptações para condições diferentes. Equipamentos modernos para reciclagem de misturas a quente podem ser facilmente adaptados para trabalhar com misturas convencionais, ampliando condições de uso sem elevar os custos em demasia.

Reciclar *in situ* assegura elevada produtividade, no entanto impede restaurações pontuais de

segmentos com defeitos estruturais (Figura 1a), ou ainda a verificação detalhada das camadas subjacentes à camada fresada (Figura 1b). A reciclagem em usinas móveis (não in-situ) apresenta menor produtividade e maior tempo de interrupção do tráfego, entretanto permite melhor seleção dos agregados fresados, intervenções localizadas, bem como avaliações das condições estruturais por meio de levantamentos deflectométricos. Em ambos os métodos, a condição superficial das vias restauradas apresenta alta qualidade, com correção evidente de defeitos que afetam a segurança e o conforto ao rolamento (Figura 1c).

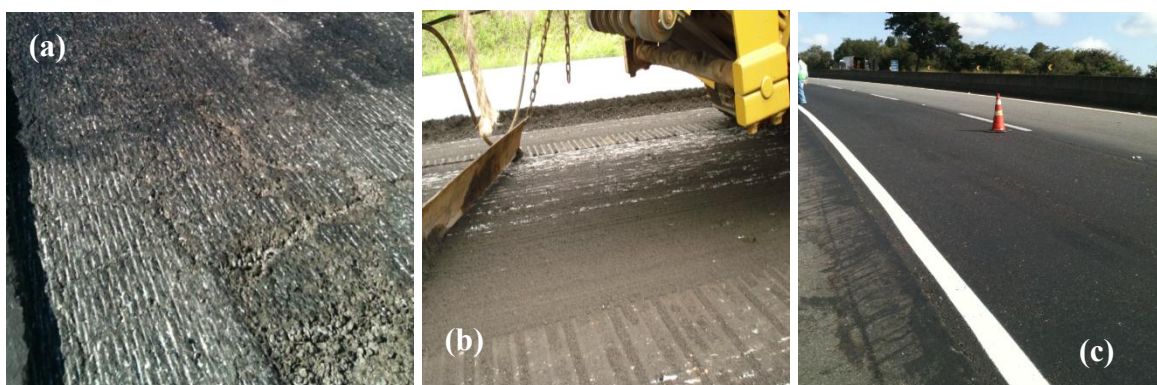


Figura 1 – Condição superficial da camada após fresagem com defeitos (a), sob o equipamento de reciclagem in situ (b), e após a reciclagem (c)

Esta pesquisa compara os resultados de comportamento das misturas recicladas in situ (Rodovia Fernão Dias e Rodovia Régis Bittencourt) e misturas recicladas em usinas móveis (Rodovia Fluminense). O principal objetivo é verificar se o método de reciclagem afeta o desempenho das camadas recicladas no que diz respeito ao módulo de resiliência destas misturas.

4. MÓDULO DE RESILIÊNCIA

A resiliência ou deformação recuperável é a capacidade que o material, após a ação de carga, possui de retornar ao estado inicial de deformação; o módulo de resiliência está relacionado à rigidez do material ou à sua capacidade de resistir às deformações. O módulo de resiliência é um parâmetro utilizado em métodos de dimensionamento de pavimentos, simulando de modo adequado a viscoelasticidade nos materiais asfálticos (Hu et al, 2008).

O módulo de elasticidade é uma propriedade fundamental dos materiais, em relação ao comportamento das deformações dos materiais sob a ação de cargas regulares (AASHTO, 1993). O módulo de resiliência atribuído a cada camada de um pavimento, determina os padrões de esforços de tensões e de deformações aos quais elas estarão submetidas quando solicitadas pelo tráfego. As propriedades de resistência à ruptura e fadiga, são contempladas na definição do número de solicitações que as camadas suportarão, no estado de tensões determinado, até a ruptura dos materiais. Cabe ressaltar que não foram realizados ensaios de módulo dinâmico, por não estar disponível no momento da pesquisa facilidade para esta realização.

De acordo com Chan et al (2009), o módulo de resiliência esperado para misturas recicladas a frio com emulsão varia em torno de 1.400 MPa a 1.700 MPa, após a cura completa da emulsão asfáltica. Em trechos executados no Canadá, as misturas recicladas atingiram módulo

médio de 1.059 MPa após a cura, após a colocação de 4 cm de camada de revestimento em concreto asfáltico, o conjunto apresentou módulo equivalente de 2.501 MPa, ainda de acordo com o mesmo autor. A mistura reciclada pode apresentar variabilidade significativa em relação ao módulo de resiliência, tanto quanto camadas granulares; esta variação pode implicar diretamente na estimativa de vida útil do pavimento (Attia e Abdelrahman, 2010).

A aplicação dos módulos de resiliência como parâmetro de desempenho exclui outros fenômenos fundamentais como a deformação permanente, fadiga, susceptibilidade à temperatura e à água, dentre outros fatores.

5. RESULTADOS

São apresentados e discutidos os resultados de módulo de resiliência de misturas recicladas a frio com emulsão modificada aplicadas em três diferentes rodovias do Grupo OHL Brasil. Todas as misturas recicladas seguem um projeto onde são incorporados 3,5% de água, 3% de emulsão asfáltica modificada por polímero SBS e 1% de cimento; não foram adicionados novos agregados pétreos, perfazendo 100% de reaproveitamento do material fresado. A avaliação destes materiais não se estende à exploração das características específicas dos materiais de cada rodovia, bem como não implica necessariamente em diferenças que possam ser atribuídas ao processo de execução (em usina ou in situ).

Foram extraídos corpos-de-prova de pista das três rodovias acima citadas, com auxílio de sonda rotativa, no diâmetro de 4"; as amostras foram posteriormente faceadas e aplainadas de modo a se obter a espessura de 63,5 mm, para ensaio de módulo de resiliência por tração indireta conforme norma ASTM D 7369/09 (Figura 2).

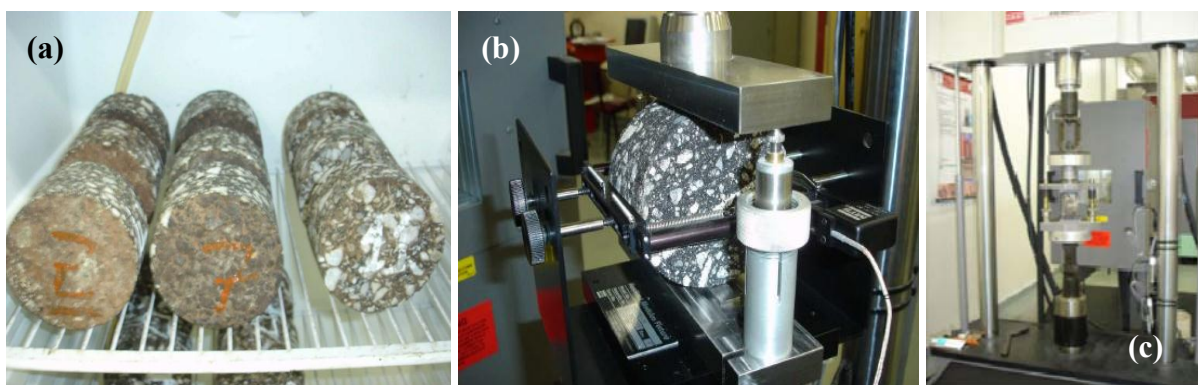


Figura 2 - Corpos-de-prova para ensaio de módulo de resiliência por tração indireta

Os resultados de módulo de resiliência são apresentados na Figura 3, sendo possível observar diferenças consideráveis entre as amostras de cada rodovia. A rodovia Fluminense apresenta não apenas resultados superiores como menor variação no grupo de amostras, o que pode ser um indicativo de menor variabilidade na mistura, permitindo inferir maior coesão associada à baixa variabilidade. Maiores resultados de módulo de resiliência nas misturas recicladas a frio indicam melhor desempenho da mistura, especialmente por que misturas a frio podem apresentar baixa coesão diretamente associada à sua produção a frio com emulsão asfáltica. No caso de misturas recicladas a frio, a peculiar variabilidade na granulometria pode ser um agente adicional de deficiência.

A rodovia Fernão Dias, que recebeu o processo de reciclagem in situ, apresentou resultados satisfatórios, embora inferiores ao indicado pelo projeto. A rodovia Régis Bittencourt apresentou resultados inferiores e maior coeficiente da variação, contudo, ainda são resultados adequados, dentro do esperado para misturas recicladas a frio com emulsão. Deve-se considerar que os agregados fresados utilizados em cada mistura foram extraídos de cada rodovia, tendo variáveis inerentes que podem afetar os resultados.

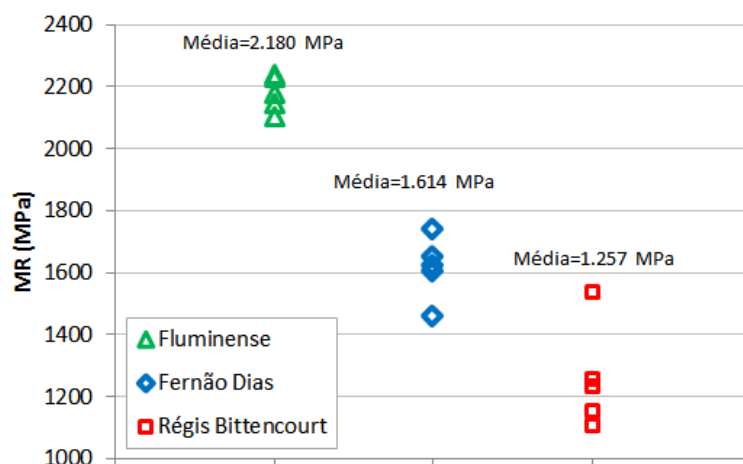


Figura 3 - Resultados de módulo de resiliência obtidos em ensaio de tração indireta

Foi realizado também o ensaio de módulo de resiliência em câmara triaxial com carga cíclica, normatizado por AASHTO T292/91, de modo que se pudesse verificar se a mistura sofre efeito do confinamento, tal qual uma camada granular. Os corpos-de-prova foram serrados e aplainados, tendo a superfície plana e lisa, recebido pintura de ligação com emulsão asfáltica de ruptura rápida, para então serem montados de modo a se obter um corpo-de-prova em dimensões adequadas para o ensaio (100 mm X 200 mm), conforme Figura 4; o procedimento adotado não tem especificações regulamentadas, tendo sido adotado com base nas experiências dos autores.

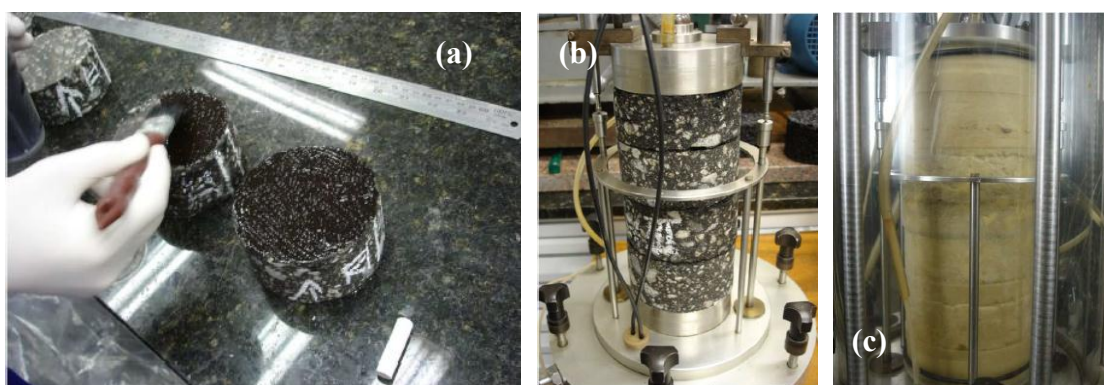


Figura 4 – Corpo-de-prova faceado (a), montado em câmara triaxial (b) e confinado para ensaio de módulo de resiliência (c)

O ensaio triaxial revelou que existe um efeito sutil da tensão de confinamento sobre misturas recicladas a frio, todavia o comportamento desta camada na estrutura se difere de uma camada granular, não somente pela baixa sensibilidade à tensão de confinamento, mas principalmente pelo maior módulo de resiliência.

Os resultados são apresentados na Figura 5, de modo que se observa que a mistura com menor módulo de resiliência no ensaio de tração indireta, sofre maior efeito do confinamento sem, no entanto, variar significativamente em relação ao aumento da tensão de confinamento, que é o caso da Rodovia Régis Bittencourt que passou do resultado de ensaio sem confinamento (por tração indireta) de média de 1.257 MPa para 1.949 MPa no ensaio triaxial com confinamento; apesar disso, o aumento na tensão de confinamento não revelou tendência de aumento no módulo de resiliência para estas amostras. O comportamento destas amostras indica que a baixa coesão da mistura pôde ser suprimida mesmo com tensões mínimas de confinamento, incrementando o desempenho da mistura reciclada de forma similar ao que ocorre com camadas granulares sob tensão de confinamento.

Os resultados verificados para as misturas da Rodovia Fernão Dias e da Rodovia Fluminense, entretanto revelaram maior susceptibilidade ao efeito do aumento da tensão de confinamento, conforme se observa pela inclinação das retas médias. O incremento em termos de resposta modular não foi tão pronunciado, quanto nas amostras da Rodovia Régis Bittencourt.

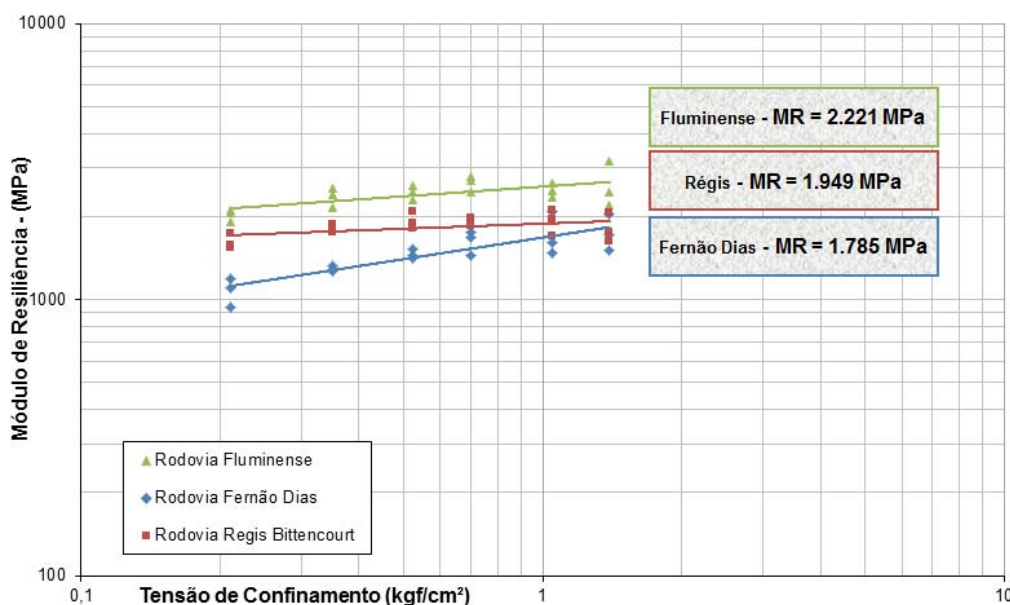


Figura 5 - Resultados de módulo de resiliência em amostras submetidas a carregamento triaxial

O ensaio realizado com tensão de confinamento indica que o desempenho do pavimento com camada reciclada pode variar em função da colocação de camada espessa de revestimento sobre a camada reciclada, em especial para vias de elevado volume de tráfego. Para materiais com maior rigidez, a variação das tensões confinantes não exerce efeito significativo sobre o comportamento resiliente. Embora as misturas asfálticas frequentemente apresentem tal comportamento, procurou-se verificar se as misturas asfálticas a frio são susceptíveis ou não ao confinamento. De fato, observou-se que o confinamento exerce influência nas misturas recicladas a frio.

Ainda como forma de verificação do módulo de resiliência foram realizadas medidas de deflexão nos trechos com camada reciclada das rodovias em análise, e estes resultados foram utilizados para retroanálise a partir do programa Elsym 5. O programa considera que as camadas do pavimento sejam isotrópicas e homogêneas sem considerar que os materiais

asfálticos apresentem comportamento viscoelástico e as camadas granulares apresentem comportamento elasto-plástico, representando uma limitação intrínseca ao programa, nas considerações de comportamento mecânico real das camadas. A utilização de retroanálise para identificação dos módulos de resiliência efetivos é muito difundida no Brasil, e em geral os resultados são avaliados com cautela, em função das variáveis de ajuste assumidas. A retroanálise apresenta a vantagem de considerar o comportamento de cada camada no sistema de todo o pavimento, que é o que de fato ocorre; a deformabilidade de cada camada interfere no desempenho do conjunto.

Para cada Rodovia foram abertas janelas de inspeção para identificação das camadas constituintes dos pavimentos, sendo estimados seus respectivos módulos por meio da retroanálise, tal qual o módulo da camada reciclada. A Figura 6 apresenta os resultados encontrados para a Rodovia Fluminense, de modo que se percebe boa correlação com as medidas do ensaio à tração indireta. Cabe mencionar que a rodovia Fluminense foi reciclada com apoio de usina móvel, tendo o material sido selecionado para enquadramento na faixa granulométrica definida em projeto.

O processo de retroanálise foi realizado a partir de dados de bacia de deflexão medidos com auxílio de equipamento Falling Weight Deflectometer (FWD) e as espessuras das camadas utilizadas foram as verificadas em campo com abertura de janelas. Os valores de módulo das camadas constituintes dos pavimentos foram estimados com base em valores indicados pela literatura, tais como os citados pelo DER, na instrução de projetos de pavimentos (2006).

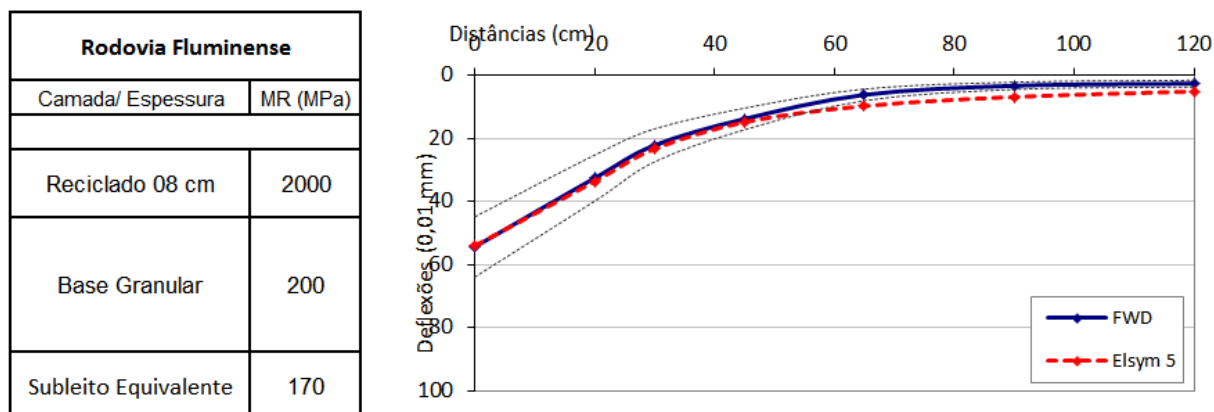


Figura 6 - Determinação do módulo de resiliência da camada reciclada por retroanálise, na Rodovia Fluminense

A rodovia Fernão Dias, bem como a rodovia Régis Bittencourt foram recicladas in situ com utilização de trem de reciclagem. A Figura 7 apresenta os resultados de retroanálise relativos à rodovia Fernão Dias sendo observada, novamente, coerência na comparação com os resultados de ensaio sob tração indireta. A variação na capacidade de suporte das camadas de base mostrou que essa tem grande contribuição na redução das deflexões do pavimento.

Rodovia Fernão Dias	
Camada/ Espessura	MR (MPa)
Reciclado 12 cm	1600
Minério 20 cm	300
Minério 15 cm	300
Subleito Equivalente	200

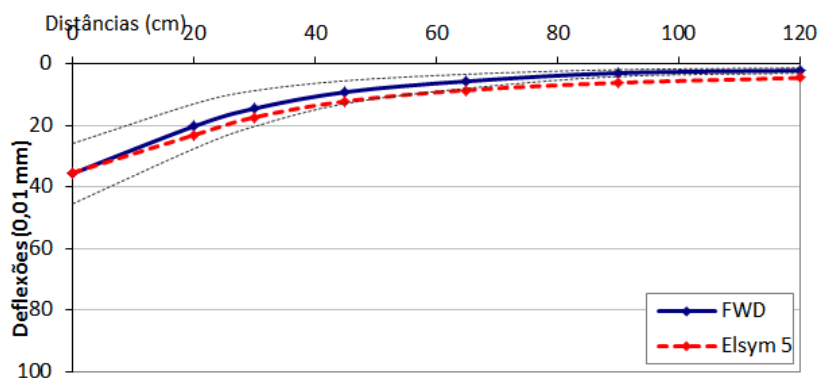


Figura 7- Determinação do módulo de resiliência da camada reciclada por retroanálise, na Rodovia Fernão Dias

Os resultados encontrados por meio de retroanálise para a rodovia Régis Bittencourt (Figura 8), quando comparados aos resultados observados no ensaio de módulo de resiliência por tração indireta, podem indicar que o comportamento da camada no conjunto do pavimento é superior ao comportamento de corpos-de prova no ensaio sem tensão de confinamento especialmente porque esta mistura teve maior influência da tensão de confinamento no ensaio triaxial, independentemente da variação dessa tensão; de modo que a alocação na estrutura provê tensão de confinamento lateral mínima, capaz de melhorar o desempenho no pavimento.

Rodovia Régis Bittencourt	
Camada/ Espessura	MR (MPa)
Reciclado 11 cm	1450
Binder 4 cm	615
Camada Granular	110
Subleito Equivalente	110

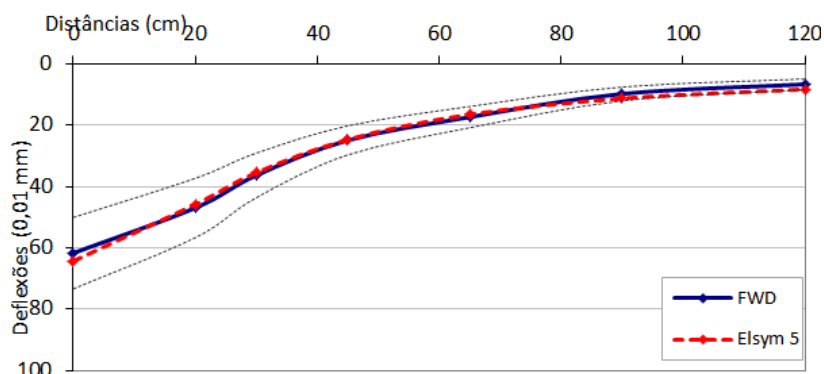


Figura 8 - Determinação do módulo de resiliência da camada reciclada por meio de retroanálise, para a Rodovia Régis Bittencourt

A rodovia Régis Bittencourt, com camada reciclada em 11 cm permitiu que uma camada remanescente de concreto asfáltico antigo permanecesse sob a camada reciclada, o que pode ter afetado o desempenho do pavimento, sendo encontrados os maiores níveis de deflexão nesta estrutura. A alocação da camada reciclada na estrutura deve ser avaliada em função das condições de contorno (Suzuki, 2005).

Os resultados apresentados indicam que os ensaios realizados em laboratório apresentam boa correlação com o comportamento verificado em campo de misturas recicladas a frio. A execução em usina móvel produziu misturas com características de resistência superiores àquelas produzidas in situ, o que em análise superficial pode estar relacionado à melhor classificação e enquadramento dos agregados fresados na faixa granulométrica, garantindo maior coesão às misturas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O módulo de resiliência da camada reciclada pode variar significativamente em função do processo de execução, sendo que a mistura em usinas móveis mostrou resultados superiores em relação à mistura executada in situ, o que pode estar diretamente relacionado à seleção mais eficiente dos agregados fresados.

Os resultados de módulo de resiliência por tração indireta mostraram coerência quando comparados aos resultados obtidos por retroanálise; os resultados de módulo em câmara triaxial indicam que o material sofre alguma influência do confinamento, de modo que a colocação de camadas de revestimento sobre a camada reciclada pode incrementar o comportamento da mistura, especialmente quando a mistura apresenta módulo de resiliência mais baixo. Na adoção de camada reciclada como revestimento, sugere-se considerar a adoção de valores de módulo de resiliência entre 1.500 MPa e 2.000 MPa para o material. Embora não se possa vincular diretamente melhores resultados de módulo à variação do processo executivo (em usina ou in situ), avaliações específicas sobre esta variação podem direcionar mais acertadamente o comportamento esperado para misturas recicladas a frio.

A restauração de revestimentos deteriorados por meio de reciclagem representa melhoria significativa nas condições de segurança e conforto ao rolamento, contudo deve ser avaliada criteriosamente a capacidade de suporte das camadas subjacentes, garantindo redução apropriada dos níveis de deflexão. A Rodovia Fernão Dias, que apresentou maior capacidade de suporte das camadas de base, teve também as menores deflexões medidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Grupo OHL Brasil pela parceria em pesquisas, permitindo a avaliação dos dados apresentados neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials - Guide for design of pavement structures. Washington, 1993.
- AASHTO T292/91. American Association of State Highway and Transportation Officials - Resilient Modulus Testing of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials.
- ALKINS, A. E.; LANE, B.; KAZMIEROWSKI, T. Sustainable pavements: environmental, economic, and social benefits of in situ pavement recycling. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, v. 2084, p. 100-103, 2008.
- ARRA, Asphalt Reclaiming and Recycling Association - Basic Asphalt Recycling Manual. p. 269, 2001.
- ASTM D 7369/09. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension Test.
- ATTIA, M. and ABDELRAHMAN, M. Variability in Resilient Modulus of Reclaimed Asphalt Pavement as Base layer and its Impacts on Flexible Pavement Performance. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, v. 2167, p. 18-29, 2010.
- BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás, ABEDA, 2007.
- CHAN, S. et al. Comparative Performance of Conventional Cold In-place Recycling to old In-place Recycling with Expanded Asphalt – Ontario's Experience. Transportation Research Board. 2009.
- DER IP-DE-P00/01 - Instrução de Projeto: Projeto de Pavimentação. Departamento de Estradas de Rodagem. 2006.
- DNIT. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de

- Transportes 2006.
- FHWA. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments - FHWA-SA-98-042. ADMINISTRATION, F. H. Washington 1997.
- HU, S. et al. Consideration of HMA resilient modulus for M-E Pavement design and analysis. Association of Asphalt Paving Technologists. Annual Journal. 2008
- LIBERATORI, L. A.; CONSTANTINO, R. S.; JR., O. T. Cold in situ recycling - at SP-147. A brand new experience. International symposium on Pavement recycling. São Paulo 2005.
- MnDOT. Minnesota Department of Transportation - Cold in-place recycling. p.83. 2000.
- MOTTA, L. M. G.; LEITE, L. M. F. Desempenho de trechos de pavimentos acompanhados nos últimos 10 anos. IBP 2002.
- PINTO, I. E. Estudo das características físicas e mecânicas de misturas recicladas com espuma de asfalto. 2002. (Dissertação de Mestrado). Engenharia de Transportes, EPUSP, São Paulo.
- SUZUKI, C. Y. et al. Structural analysis of a test section using cold in place recycling. International Symposium On Pavement Recycling. São Paulo 2005.

Amanda Helena Marcandali da Silva (amarcandali@usp.br)

Liedi Legi Bariani Bernucci (liedi@usp.br)

Ana Luisa Aranhai (ana.aranha@usp.br)

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Laboratório de Tecnologia de Pavimentação, Avenida Prof. Almeida Prado Trav. 2, nº 83; Cidade Universitária SP;

Jose Mário Chaves (jmariochaves@uol.com.br)

Grupo OHL Brasil – CDT – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 - Vargem - SP