

Asfalto modificado por polímero empregado na BR-153/GO

Ernesto Simões Preussler
Marcílio Augusto Neves

1. APRESENTAÇÃO

Nos últimos anos, tem-se registrado vários casos de deterioração precoce de pavimentos, com danos por trincas de superfície após a execução, em pavimentos projetados, executados e controlados adequadamente. Ao ser elaborado o projeto executivo de duplicação e restauração da rodovia BR 153/GO, trecho Professor Jamil – Divisa GO/MG (Itumbiara), no lote 2, procurou-se estudar uma alternativa econômica para se dotar o revestimento de adequada resistência à tração e à deformação permanente, com o objetivo de evitar a deterioração precoce. Uma alternativa que se mostrou viável técnica e economicamente, foi o emprego no CBUQ de CAP modificado por polímero. A viabilidade foi propiciada pela economia oriunda da redução de espessura do revestimento, em decorrência do aumento da resistência com a incorporação do aditivo, que suplantou o custo adicional relativo ao CAP modificado por polímero.

Na fase de obra foi escolhido o terpolímero elastomérico reativo ELVALOY, com dosagem em torno de 1% do peso do CAP, o que permitiu um ganho em termos de recuperação elástica acima de 50%. A escolha desse polímero permitiu que a modificação do CAP fosse realizada no próprio canteiro de obras, pela executora da obra, com vantagem econômica e de produtividade em relação a outros polímeros. A execução da camada, por

processo convencional, exigiu rígido controle de temperatura e compressão com rolos de aço de 25 toneladas. O controle tecnológico foi acrescido do ensaio de recuperação elástica com ductilômetro, que se mostrou amplamente satisfatório. O segmento executado, com 17,8 km, será monitorado para acompanhamento do seu desempenho.

2. INTRODUÇÃO

Ao longo de suas vidas profissionais, os autores deste trabalho depararam-se com alguns insucessos em obras de pavimentação rodoviária ou de vias urbanas, com uma frequência que se pode considerar reduzida. Geralmente, os problemas de deterioração dos pavimentos originavam-se de dois aspectos: falhas de projeto (dimensionamento ou indicação de materiais de qualidade duvidosa) ou falha executiva.

Nos últimos anos, contudo, os autores começaram a observar um grande aumento na frequência de problemas de deterioração precoce nas obras, mesmo quando se tem pavimentos adequadamente projetados e bem executados e controlados. O excesso de carga por eixo, devido às deficiências generalizadas no controle das cargas dos caminhões, tem sido várias vezes evocado como a causa dos defeitos precoces. Mas estudos realizados para a Rodovia Fernão Dias, trecho Belo Horizonte–São Paulo, mostraram que o excesso de

carga causa, sim, a redução da vida útil do pavimento, mas não pode ser o causador de trincas com idades de 6 meses a um ano. O excesso contribui, mas não é o causador do problema.

Os danos mais comuns que se tem observado são as trincas que surgem na superfície do concreto asfáltico em um período muito curto, inferior a um ano após a execução.

Vários estudos realizados nos últimos anos, mostraram as deficiências do CAP atualmente produzido no Brasil e no Mundo.

Este fenômeno foi recentemente observado na rodovia BR-153/GO, no trecho em obra de duplicação entre Aparecida de Goiânia e Professor Jamil, onde o pavimento foi executado com CBUQ convencional, que apresentou trincas prematuras, após a conclusão de alguns segmentos. Trincas prematuras geradas por má qualidade do CAP produzido no Brasil já foram anteriormente observadas em alguns segmentos das obras na Rodovia BR 381 (Belo Horizonte–São Paulo) e na BR 116/SP (São Paulo–Curitiba).

Estudos desses problemas realizados pelo Professor Armando Martins Pereira, comprovaram que o CAP 20, após a usinagem, tem sofrido expressivo envelhecimento precoce, com diminuição da penetração de 50 para 18 a 25, e aumento da viscosidade de 1.800 poises para 4.000 poises. Esta situação ocorre devido ao CAP receber óleos no seu refino para atingir a viscosidade especificada.

Mas esses óleos são voláteis e, parte deles, é perdida no processo de usinagem. Com isto, o pavimento fica susceptível ao trincamento no topo da camada, causado pela alternância de temperatura quente durante o dia e fria à noite. O risco de tal fenômeno ocorrer no planalto goiano é enorme, pois na região a amplitude térmica chega a ser de 20°C em um dia, com calor de 35° à tarde (o pavimento, assim, atinge cerca de 55° C) e frio de 15° à noite.

Foi com o objetivo de evitar a deterioração precoce que, ao ser elaborado o projeto executivo de duplicação e restauração da rodovia BR-153/GO, trecho Professor Jamil-Divisa GO/MG (Itumbiara), lote 2, procurou-se estudar uma alternativa econômica para se dotar o revestimento de adequada resistência à tração e à deformação permanente. Uma alternativa que se mostrou viável técnica e economicamente, foi o emprego no CBUQ de CAP modificado por polímero, que será discutido a seguir.

3. PROJETO E VIABILIDADE ECONÔMICA

Em função do tráfego previsto para a rodovia BR 153/GO após a duplicação, expresso em Número N de solicitações equivalentes pelo critério do Corpo de Engenheiros de $4,5 \times 10^7$, foram obtidas no dimensionamento espessuras elevadas para a camada de revestimento do pavimento da pista de rolamento, com 10 cm de CBUQ, sobre base com solo-areia (15 cm) e sub-base de solo estabilizado granulometricamente (15 a 20 cm).

Apesar da espessura de 10 cm de CBUQ, o projetista considerou a necessidade de procurar-se uma alternativa para se garantir que o pavimento tenha uma vida útil, tal como recomendado pelo DNIT, de 10 anos.

Conforme comentado anteriormente, tem-se notícia em nosso meio técnico de inúmeros problemas de qualidade do CAP hoje produzido, o que tem causado trincas prematuras em algumas obras executadas nos últimos quatro anos. Tais problemas geralmente originam-se de: susceptibilidade do CAP ao envelhecimento precoce; desencadeamento do fenômeno de fadiga térmica, com a alternância de temperaturas diurna/noturna, provocando o surgimento de fissuras filiformes no topo da camada de CBUQ; mudanças de velocidade e de direção ocasionadas pelas ações dos veículos que provocam tensões de cisalhamento, promovendo o alargamento das fissuras, e formando as trincas precoces.

O IPR/DNER realizou, em 1998, uma ampla Pesquisa de Asfaltos Modificados por Polímeros. Os resultados da pesquisa mostraram a qualidade proporcionada ao pavimento com a introdução dos polímeros, bem como a viabilidade econômica da alternativa, uma vez que a espessura do revestimento pode ser reduzida em até 30%.

A modificação do CAP com a adição de polímeros proporciona alterações das propriedades reológicas, promovendo menor susceptibilidade à oxidação, aumento do ponto de amolecimento, melhoria do comportamento elástico e aumento da ductibilidade.

Essas características promovem os seguintes benefícios nas misturas asfálticas: redução da susceptibilidade térmica das misturas; aumento da flexibilidade e elasticidade a baixas temperaturas; melhoria da resistência à fluência, ao surgimento de trincas e a deformações plásticas a altas temperaturas; aumento do módulo de rigidez a altas temperaturas; aumento

das forças de adesão e coesão dos agregados ao ligante; e aumento da resistência ao desgaste

Mas as principais vantagens do uso do CAP modificado por polímeros são: aumento da resistência à tração da mistura, com maior vida útil (redução da susceptibilidade à fadiga); redução do risco de propagação de trincas; e possibilidade de utilização de camadas de menor espessura, face à resistência à tração e à maior absorção de tensões.

Foi esta última vantagem que motivou o estudo de alternativas de pavimentos novos com emprego de CAP modificado por polímero, no projeto da BR 153/GO.

No projeto, foi considerada a Instrução de Serviço IS N° 007/98 do DNER, que prevê a redução da espessura do CBUQ em 30%, quando se tiver CAP modificado por polímero, incentivando o seu uso.

O projeto baseou-se também no Relatório Final da Pesquisa de Asfaltos Modificados por Polímeros do IPR/DNER, onde consta do Tomo III a metodologia proposta para a determinação da redução da espessura de CBUQ, com base em estudos do Dr. Salomão Pinto e Dr. Ernesto Preussler sobre 105 configurações estruturais. É recomendada a expressão:

$$Hca_{pol} = Hca / \beta$$

Onde:

Hca_{pol} – Espessura de CBUQ com CAP modificado por polímero;

Hca – Espessura de CBUQ com CAP convencional;

β - Coeficiente de redução da espessura em função do tipo do subleito.

Sendo:

$\beta = 1,29$ para estruturas com subleito com solo do tipo I quanto à resiliência;

$\beta = 1,26$ para estruturas com subleito

com solo do tipo II quanto à resiliência; $\beta = 1,21$ para estruturas com subleito com solo do tipo III quanto à resiliência.

No projeto da BR 153/GO, como o solo é do tipo I, a redução de espessura foi calculada para $\beta = 1,29$, obtendo-se para $H_{ca} = 10$ cm, $H_{ca_{pol}} = 7,8$ cm. Foi então adotado um revestimento com 8 cm de CBUQ (4 cm na faixa C e 4 cm na faixa B).

Ainda, foi realizado um estudo comparativo de custo entre duas alternativas, com as espessuras mostradas na Figura 1: alternativa de CBUQ convencional, com 10 cm de espessura, e alternativa com asfalto modificado por polímero. No estudo, foi comprovada a viabilidade econômica da incorporação do polímero.

A viabilidade foi propiciada pela economia oriunda da redução de espessura do revestimento, em decorrência do aumento da resistência com a incorporação do aditivo, que suplantou o custo adicional relativo ao CAP modificado por polímero.

4. ESCOLHA DO POLÍMERO E DOSAGEM

Iniciada a obra no lote 2 da BR 153/GO, a empresa executora efetuou dosagens para dois tipos de polímeros, de forma a obter recuperação elástica mínima de 45%, obtendo:

- para o polímero SBS (estireno – butadieno – estireno), teor de 3,5% a 4,0%;
- para o terpolímero elastomérico reativo ELVALOY, teor de 1% em relação ao peso do CAP.

Em função dos custos envolvidos, a executora da obra definiu o uso do terpolímero elastomérico reativo ELVALOY, cujo teor na obra variou em torno de 1% a 1,4% do peso do CAP, o que permitiu um ganho em termos de recuperação elástica acima

de 50%. A escolha desse polímero permitiu que a modificação do CAP fosse realizada no próprio canteiro de obras, com vantagem econômica e de produtividade em relação a outros polímeros.

Definido o tipo de polímero, efetuou-se a dosagem granulométrica do CBUQ nas faixas B (camada inferior) e C (camada de rolamento), além das dosagens Marshall, resumidas na Figura 2 e no Quadro 1.

5. MODIFICAÇÃO DO CAP NO CANTEIRO DE OBRAS

Como já exposto, a grande vantagem do polímero escolhido foi a possibilidade da modificação do CAP ser realizada no próprio canteiro, com custo inferior ao do CAP adquirido já modificado.

No canteiro, a modificação é possível, desde que se disponha de assistência técnica adequada e um rígido controle em laboratório.

Para tal, foi utilizado um tanque de modificação cilíndrico, com as seguintes características e equipamentos:

- dimensões: Capacidade – 30.000 l; Diâmetro – 2,31 m; Comprimento – 7,20 m;
- revestimento térmico (8 cm de lã de vidro);
- abertura para inspeção e adição do Ácido Polifosfórico, com diâmetro de 0,60 m;
- aquecimento por serpentinas (14 Tubos interligados com diâmetro de 1 ½");
- compartimento para adição do polímero com funil para adição (diâmetro de 0,50 m, comprimento de 0,40 m) com saída (tubo com diâmetro de 4"), provido de sistema de dosagem; e suspiro para eliminação de gases (diâmetro de 7" e altura de 2,5 m), com proteção superior;

Figura 1 - Alternativas de Pavimentos



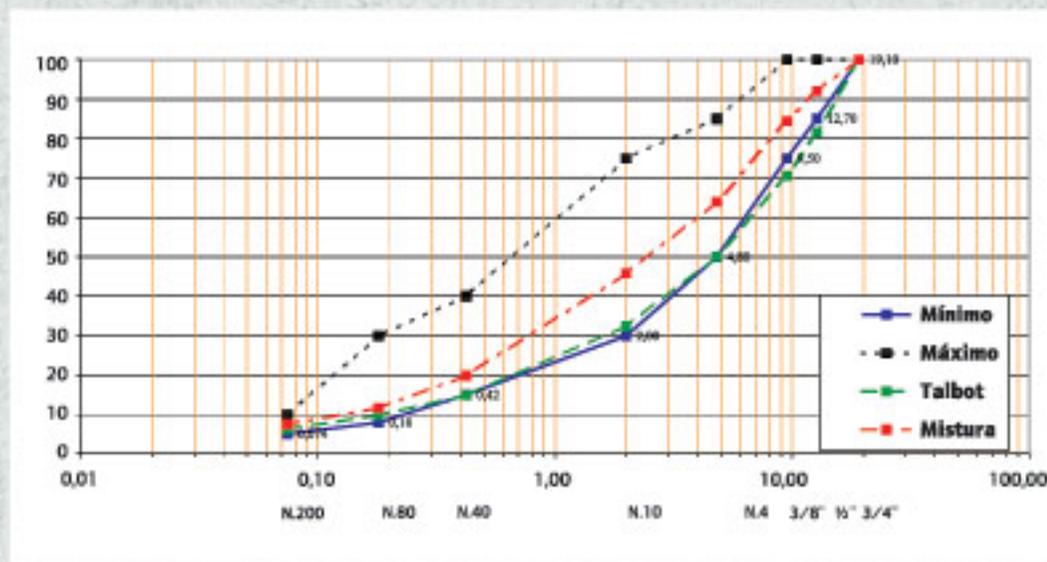
- sistema de incorporação do polímero: conjunto com motor elétrico (1.756 rpm), acoplado com redutor (1:18); rotação de saída do redutor para eixos de 96 rpm; acoplamento flexível, mancais de apoio e guia; eixos providos de dois pares de hélices com três unidades de palhetas inclinadas a 45° em relação do eixo; cada palheta apresenta na extremidade superior uma inclinação de 15 cm com 90° em relação do eixo;
- painel de comando dos motores.

O painel tem como função comandar o funcionamento dos três motores, mais a iluminação da plataforma de modificação. O mesmo dispõe de sistema de proteção com disjuntor térmico e timer (relógio) para controlar tempo de mistura e comando individual para os agitadores.

O Procedimento para incorporação do terpolímero elastomérico reativo e do catalisador (ácido polifosfórico) foi o seguinte:

- após o início da adição do polímero, deve-se manter a agitação por um período de 4 horas, para a total incorporação do mesmo ao CAP;

Figura 2 - Curva Granulométrica do CBUQ – Faixa C



- a temperatura ideal para a modificação do CAP é de 190°C, com tolerância até 185°C (temperaturas menores são insuficientes);
- o tanque deve ter isolamento térmico para que a temperatura seja mantida durante as 4 horas para a modificação, período em que os motores devem permanecer ligados;
- estando o tanque na temperatura adequada, com os motores entre 90 e 100 rpm, inicia-se a adição do polímero, com consumo de 5 a 8 kg por minuto em cada compartimento, posicionado sob as hélices de dispersão;
- passadas duas horas da adição completa do polímero, adiciona-se o Ácido Polifosfórico, em um percentual de 0,22% em relação ao peso do asfalto.

O Quadro 2 exemplifica o tempo do processo de modificação.

6. EXECUÇÃO DO CONCRETO ASFÁLTICO

Após a modificação do CAP com o polímero, são poucas as diferenças no processo executivo em relação ao concreto asfáltico com CAP tradicional.

O processo de usinagem da mistura é o mesmo praticado na execução da massa com o CAP 20 convencional (não modificado). A temperatura ideal para usinagem do asfalto modificado por polímero é da ordem de 15°C acima da temperatura obtida no gráfico de

viscosidade versus temperatura do CAP antes de sua modificação.

A aplicação da massa na pista é feita com os mesmos procedimentos e cuidados necessários ao asfalto convencional, recomendando-se adicionalmente apenas que sejam utilizados dois rolos de pneus (um rolo com 30 toneladas e um segundo rolo com 24 toneladas para compactação da massa) e um rolo de chapa tipo CC-43 ou similar para acabamento final, podendo este entrar na pista quando se tem temperatura superior à recomendada com a utilização de asfalto convencional.

7. CONTROLE TECNOLÓGICO

O controle do CBUQ executado com asfalto modificado por polímero é composto dos mesmos ensaios previstos na Especificação DNER-ES-P 313/97.

Quadro 1 - Dosagem das Misturas com CAP modificado por polímero

| PARÂMETROS | FAIXA C | | FAIXA B | |
|-----------------------------------------------|--------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | VALOR | ESPECIFICADO | VALOR | ESPECIFICADO |
| Dosagem dos Agregados: | | | | |
| Brita 1 | 20 % | | 33 % | |
| Pedrisco | 20 % | | 17 % | |
| Pó-de-pedra | 44 % | | 34 % | |
| Areia | 16 % | | 16 % | |
| CAP 20 (sobre agregados) | 5,85 % | | 5,58 | |
| Polímero (sobre o CAP) | 1 a 1,3 % | | 1 a 1,3 % | |
| Dosagem Marshall: | | | | |
| Massa específica teórica | 2.605 | - | 2.621 | - |
| Massa específica aparente | 2.495 | - | 2.477 | - |
| Teor de Vazios | 4,4 % | 3 a 5 % | 5,5 % | 4 a 6 % |
| Relação Betume/Vazios | 76,6 % | 75 a 82 % | 70,9 % | 65 a 72 % |
| Estabilidade Marshall | 1.427 Kg | > 500 Kg | 759 Kg | > 500 Kg |
| Fluência | 3,2 mm | 2,0 a 4,5 mm | 16 (0,01") | 8 a 18 |
| Resistência a tração por compressão diametral | 10,9 Kgf/cm ² | 7 a 12 | 9,8 Kgf/cm ² | 7 a 12 |

Quadro 2 - Tempo do processo de modificação do CAP

| PROCEDIMENTOS | HORÁRIO | | DURAÇÃO |
|---------------------------|---------|-------|---------------------|
| | INICIAL | FINAL | |
| Adição do polímero | 10:30 | 11:00 | 30 minutos |
| Mistura do polímero | 11:00 | 13:00 | 2 horas |
| Adição do Ácido Fosfórico | 13:00 | 13:10 | 10 min |
| Catalisação com o Ácido | 13:10 | 14:30 | 1 hora e 20 minutos |
| Tempo Total | | | 4 horas |

Quadro 3 - Resumo de Resultados do Controle do CAP modificado por polímero

| Parâmetros | | Controle Estatístico | | | | |
|--------------------------|----------------|----------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | | Média (M) | Desvio Padrão | Mínimo (M - DP) | Máximo (M + DP) | Especificação |
| Penetração (mm) | - CAP 20 | 52 | 2 | 50 | 54 | > 50 |
| | - Com polímero | 65 | 3 | 62 | 68 | > 55 |
| Ponto de Amolecimento °C | - CAP 20 | 53 | 2 | 51 | 55 | - |
| | - Com polímero | 62 | 2 | 60 | 64 | - |
| Recuperação Elástica (%) | - Com polímero | 51 | 1 | 50 | 52 | > 45 |

Quadro 4 - Resumo de Resultados do Controle do CBUQ com CAP modificado por polímero

| Parâmetros | | Controle Estatístico | | | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | | Média (M) | Desvio Padrão | Mínimo (M - DP) | Máximo (M + DP) | Especificação |
| Faixa C | - Teor de CAP (%) | 5,8 | 0,2 | 5,6 | 6,0 | 5,6 a 6,2 |
| | - Grau de Compressão (%) | 99,6 | 0,3 | 99,3 | 99,9 | > 97 |
| | - Volume de Vazios (%) | 3,9 | 0,4 | 3,5 | 4,3 | 3 a 5 % |
| | - Vazios na pista (%) | 4,6 | 0,3 | 4,3 | 4,9 | - |
| | - Relação Betume/Vazios | 79 | 2 | 77 | 81 | 75 a 82 |
| | - Estabilidade (Kg) | 1.031 | 239 | 792 | 1.271 | > 500 |
| | - Fluência (mm) | 3,2 | 0,3 | 2,9 | 3,5 | 2,0 a 4,5 |
| | - Resistência a tração por compressão diametral | 10,5 | 0,9 | 9,6 | 11,4 | 7 a 12 |
| | Faixa B | - Teor de CAP (%) | 5,7 | 0,1 | 5,6 | 5,8 |
| - Grau de Compressão (%) | | 100 | 0,5 | 99,5 | 100 | > 97 |
| - Volume de Vazios (%) | | 5,7 | 0,3 | 5,4 | 6,0 | 4 a 6 % |
| - Vazios na pista (%) | | 5,2 | 0,5 | 4,7 | 5,7 | - |
| - Relação Betume/Vazios | | 71 | 1 | 70 | 72 | 65 a 72 |
| - Estabilidade (Kg) | | 961 | 162 | 799 | 1.122 | > 500 |
| - Fluência (mm) | | 3,2 | 0,3 | 2,9 | 3,5 | 2,0 a 4,5 |
| - Resistência a tração por compressão diametral | | 9,9 | 1,0 | 8,9 | 10,9 | 7 a 12 |

No Quadro 3, são mostrados os resultados dos ensaios de controle do CAP 20 e do CAP modificado por polímeros, de penetração e ponto de amolecimento.

O controle tecnológico, no caso, foi acrescido do ensaio de recuperação elástica com ductilômetro, que se mostrou amplamente satisfatório. Tal controle foi feito para cada batelada de CAP modificado obtida.

A execução da camada na BR 153/GO exigiu um rígido controle de temperatura, além dos controles

tradicionais de grau de compressão, volume de vazios, relação betume/vazios, estabilidade Marshall e fluência. Adicionalmente, foi efetuado o controle da resistência à tração por compressão diametral. Os resultados obtidos nos controles são apresentados no Quadro 4.

8. CONCLUSÃO

Na obra objeto do estudo, foi executado um segmento de 17,8 km com o CBUQ com CAP modificado por polímero. Os resultados foram amplamente satisfatórios.

A modificação do CAP no canteiro de obras, com o terpolímero elastomérico reativo ELVALOY, mostrou-se viável técnica e economicamente.

O segmento executado será agora monitorado para acompanhamento do seu desempenho.

De acordo com os estudos laboratoriais e de campo, concluiu-se também sobre a necessidade do aperfeiçoamento das especificações técnicas de ligantes asfálticos, atribuindo-se referenciais mais rigorosos para a qualidade das misturas.

9. BIBLIOGRAFIA

- DER-MG (1999) - Relatório de Avaliação do Pavimento da BR-381/MG.
- DNER (1999) - Especificação DNER-ES 385/99 - Concreto Asfáltico com Asfalto Polímero. IPR/DNER, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1996) - Manual de Pavimentação. IPR/DNER, Rio de Janeiro, RJ.
- Ipiranga Asfaltos (1999) - Asfalto Modificado com Polímero. São Paulo, SP.
- IPR/DNER (1996) - Pesquisa de Asfaltos Modificados por Polímeros. Rio de Janeiro, RJ.
- Meeça (2001) - Relatório de Avaliação do Pavimento da BR-381/MG.
- Pereira, A.M. (1998) - Relatório de Avaliação da Rodovia Fernão Dias (BR-381). Curitiba, PR.
- Souza M.L. (1980) - Pavimentação Rodoviária. IPR/DNER, Rio de Janeiro, RJ.

Ernesto Simões Preussler é engenheiro da Dynatest Engenharia Ltda., São Paulo/SP.

Marcílio Augusto Neves é engenheiro e consultor em Belo Horizonte/MG