

PESQUISA: RETRORREFLETÂNCIA NA DEMARCAÇÃO VIÁRIA

Selma Schwab
Robson José de Cássia Afonso
César Augusto Rodrigues da Silva

I. INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito no Brasil causam prejuízos materiais e sociais da ordem de US\$ 4 bilhões/ano, sendo que o número de mortos e feridos no tráfego é da ordem de 1.000.000 pessoas/ano.

Vários fatores são responsáveis pelos alarmantes dados de acidentes de trânsito no País, que vão desde aspectos culturais até a construção e manutenção de rodovias. Os materiais de demarcação viária são fundamentais à segurança e sua eficiência depende da adequada visibilidade.

A expectativa de vida e o poder de compra da população brasileira e mundial vêm aumentando, bem como o uso de veículos automotores. Faz-se necessário, então, a utilização de sistemas de demarcação viária cada vez mais eficientes à percepção visual, de forma a atender às necessidades dos usuários, em especial, os mais idosos.

Além da segurança no tráfego, a importância deste estudo se faz relevante nestes tempos de orçamentos escassos no setor público e no rodoviário em particular, onde se exige soluções técnicas com aplicações racionalizadas dos recursos financeiros disponíveis.

Desta forma, o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER/MG) e o Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) realizaram a Pesquisa Retrorrefletância na Demarcação Viária, com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pretendendo estabelecer os procedimentos e parâmetros para medidas de desgaste e retrorrefletância em demarcações viárias, através de experimentação de campo.

A pesquisa foi executada no período de Março de 1996 a Setembro de 1998, tendo sido orçada em R\$50.000,00.

II. OBJETIVOS

O objetivo principal desse projeto foi o *estabelecimento dos valores mínimos de retrorrefletância inicial*, a partir dos quais serão aceitos os serviços de demarcação viária e *dos valores mínimos de retrorrefletância residual*, abaixo dos quais deverá ser realizada a manutenção na sinalização horizontal.

Além do estabelecimento desses parâmetros, também foram elaborados os processos de avaliação de retrorrefletância e de desgaste, incluindo os tipos de instrumentos de medição e a forma como devem ser utilizados, visando a obtenção de resultados confiáveis e representativos.

No curso da pesquisa, foram atingidos, ainda, os seguintes objetivos secundários:

a) Caracterização dos materiais de demarcação disponíveis, utilizando-se métodos de ensaio convencionalmente empregados e avaliação da qualidade desses materiais face às normas específicas existentes.

Foram realizados todos os ensaios preconizados pela ABNT nos materiais utilizados na pesquisa. À medida que foram executados os ensaios para controle de qualidade dos materiais, reavaliou-se os próprios métodos de ensaios. Face à esta reavaliação, foram propostas à ABNT alteração em quatro normas, a saber:

- ♦ NBR 12037 - Determinação do Sangramento em Tintas de Demarcação Viária, especificando a granulometria do filler e alterando o valor da temperatura da mistura do cimento asfáltico e filler, de forma a se obter resultados mais homogêneos.
- ♦ NBR 6832 – Verificação do Índice de Refração em Microesferas de Vidro, propondo uma bateria de líquidos com índices de refração entre 1,50 e 1,55, constituída pela mistura de aldeído cinâmico e trietanolamina, em proporções definidas, de maneira a facilitar a execução do ensaio e evitar a dispersão dos resultados.
- ♦ NBR 12029 - Determinação do Dióxido de Titânio em Tintas de Sinalização Horizontal, propondo a substituição do redutor de Jones (onde se utiliza mercúrio – substância poluente), pelo método de determinação que utiliza um padrão P.A., devido à rapidez, facilidade de execução e não agressão ao meio-ambiente.
- ♦ NBR 12031 - Determinação do Cromato de Chumbo, onde se propôs alterações quanto à nomeação das soluções, melhorando a compreensão quanto à execução do ensaio.

b) Elaboração de procedimentos para avaliação de retrorrefletância em demarcações viárias

Foram elaborados os procedimentos, não só para avaliação de retrorrefletância, mas também para avaliação de desgaste em demarcações viárias.

c) Consolidação e capacitação do CETEC e DER/MG para o recebimento dos materiais e serviços de demarcação viária.

Estes ensaios, que eram anteriormente executados apenas em outros estados, podem agora ser realizados em Minas Gerais.

Foram adquiridos equipamentos e reagentes de laboratório, um retrorrefletômetro portátil e equipamento fotográfico apropriado para o registro do comportamento do material em escala microscópica.

O projeto propiciou, ainda, a integração efetiva entre o CETEC e DER/MG, bem como capacitou esses órgãos a uma melhor atuação nas discussões nacionais e internacionais em relação ao objeto de estudo.

d) Estudos do comportamento dos materiais de demarcação viária, aplicados em pavimentos nacionais típicos, em condições climáticas e de tráfego prevalentes.

Através das avaliações periódicas, coletou-se os dados sobre os valores de retrorrefletância e desgaste em relação ao tempo de observação, estabelecendo-se as curvas características de cada material. O estudo do comportamento dos materiais através dessa massa de dados, deverá auxiliar o engenheiro na tarefa de especificar o material mais adequado à cada circunstância.

e) Obtenção de dados experimentais para se estabelecer parâmetros de desempenho e economia dos vários materiais usados na demarcação viária retrorrefletiva.

Através dos dados coletados durante a pesquisa, pode-se descartar alguns sistemas de demarcação, tanto quanto é possível indicar outros, quando se compara os valores de retrorrefletância obtidos.

III. METODOLOGIA

1. Visitas Técnicas

Ao ser concebido, o projeto previa a realização de visitas técnicas à laboratórios de pesquisa e fabricantes de materiais de demarcação viária nos Estados Unidos da América.

Tal medida se mostrou acertada, pois através dos contatos estabelecidos, pode-se conhecer o estado da arte das pesquisas sobre os materiais em questão e avaliar os diferentes tipos de equipamentos para medida da retrorrefletância.

Ressalta-se que o objeto da pesquisa também é de interesse das instituições americanas visitadas.

Através dos contatos realizados, tornou-se possível especificar com segurança quais os materiais e equipamentos a serem adquiridos para a realização da pesquisa. Durante as visitas conseguiu-se ainda obter gratuitamente todo o material necessário à revisão bibliográfica.

2. Consultoria sobre Dados Biofísicos do Olho Humano

Segundo o consultor da pesquisa, Dr. Sebastião Cronemberger, é importante enfatizar que:

- ♦ A sensibilidade retiniana decresce com o aumento da idade.
- ♦ O limiar de sensibilidade retiniana de uma pessoa de 65 anos é de aproximadamente o dobro do valor daquele de um indivíduo de 23 anos.
- ♦ Há indivíduos, cuja sensibilidade retiniana encontra-se reduzida por doenças oculares (glaucoma), patologias maculares, anomalia da visão de cores ou influência de intoxicantes.

Outras pesquisas mostram que:

- ♦ O campo de visão, em geral, apresenta uma redução após os 30 anos.
- ♦ Com a idade, a iluminação precisa ser aumentada para manter o nível da acuidade visual.
- ♦ Após os 40 anos a visão é mais sensível ao brilho.
- ♦ A taxa de adaptação à escuridão se reduz com a idade.
- ♦ A percepção de profundidade decresce com a idade.

A perda da função visual devido ao envelhecimento em geral, afeta três categorias de percepção:

- ♦ Perda do poder acomodativo (redução da habilidade de focar a distâncias variadas).
- ♦ Perda da receptividade ao nível retiniano (redução do campo da visão).
- ♦ Perda da transmissividade da luz através dos olhos (redução na percepção da iluminação).

Em uma reportagem da revista EXAME, de 27/09/95, registrou-se que “O Brasil está envelhecendo”. A vertiginosa redução da taxa de crescimento demográfico do país nas última duas décadas, aliada à diminuição da taxa de mortalidade e ao

aumento da expectativa de vida do brasileiro, são responsáveis pelo estreitamento da pirâmide etária no país

O novo perfil demográfico do brasileiro suscita necessidades por bens e serviços e novas demandas a serem atendidas no setor público.

Acrescente-se a isto, o fato de que o limite de velocidade aumentou de 80 para 110 Km/h, conforme o Código Brasileiro de Trânsito, instituído pela lei n.º 9.503, de 23/09/97, e que a indústria automobilística implementa melhorias tecnológicas em seus produtos, que redundam quase na maioria das vezes em aumento da potência dos motores.

Tudo isto resulta na necessidade de ter-se rodovias mais seguras – adequadamente sinalizadas.

3. Aquisição de Equipamentos e Material de Laboratório

Foram adquiridos os materiais de consumo necessários aos ensaios previstos no projeto de pesquisa, bem como o retrorrefletômetro MIROLUX, modelo 12, e o equipamento fotográfico marca PENTAX, modelo K 1000, destinado à documentação visual do projeto.

4. Eleição dos Trechos-teste

Como contrapartida do DER/MG, elaborou-se o documento “*Determinação dos Trechos-teste*”, onde são apresentadas as características do revestimento, croquis dos segmentos escolhidos e seção tipo do pavimento.

Convencionou-se que as características desejáveis seriam rodovias com pista em um só sentido de tráfego, com duas ou mais faixas de tráfego por sentido e inexistência de interseções próximas aos trechos-teste.

A partir desta premissa, estudou-se o melhor local, tendo em vista a qualidade do pavimento, velocidade diretriz, geometria da via, número e largura das faixas de tráfego; localização mais próxima possível de Belo Horizonte, com o intuito de se evitar deslocamentos dispendiosos; segmentos que não viessem a sofrer intervenções durante o período de execução da pesquisa; segmentos que apresentassem trechos tanto em pavimento flexível, quanto em pavimento rígido; volume médio diário de tráfego (VMD) da ordem de 5000 veículos, de forma que a demarcação fosse submetida ao desgaste intensivo por ação do tráfego, pretendendo assim reduzir o tempo de avaliação.

A partir destes critérios, optou-se então pela Rodovia MG-424, pista direita, sentido Belo Horizonte-Pedro Leopoldo. A via apresenta extensão de 30 Km e velocidade diretriz de 80 Km/h, tendo sido construída em 1979, com estado de conservação satisfatório nos segmentos escolhidos (Km 18 - pavimento rígido e Km 24 - pavimento flexível). É constituída de pista dupla, com duas faixas de tráfego cada e dividida por canteiro central de 7,00m.

5. Estudo de Tráfego nos Trechos-teste

Tendo-se escolhido "a priori" a via onde poderiam ser executadas as demarcações previstas no projeto, passou-se à realização dos estudos de tráfego, de forma a se determinar o volume médio diário (VMD) atuante.

Coube ao DER/MG, a responsabilidade da avaliação e apresentação do documento “Resultado dos Estudos de Tráfego para Pesquisa Técnica 778/95”. Nesse estudo caracteriza-se tráfego atual, bem como projeta-se o tráfego futuro que utilizará a rodovia.

As pesquisas de tráfego consistiram em "Contagens Volumétricas Classificatórias", realizadas em três dias consecutivos, com jornada de 14 horas, em um posto de contagem instalado no Km 24 da rodovia MG-424. O volume médio diário obtido (Setembro/96) foi da ordem de 6.500 (seis mil e quinhentos) veículos, com 45% de veículos de carga.

6. Contratação de empresa para aquisição e aplicação dos materiais

Preparou-se a Carta Convite CETEC GFM 085/96, cujo objeto foi o fornecimento e aplicação dos materiais de demarcação viária, bem como a confecção e implantação das placas de sinalização previstas no projeto. O licitante vencedor (SITRAN – Sinalização de Trânsito Industrial Ltda.) adquiriu todos os materiais e encaminhou-os aos laboratórios do CETEC para a análise, responsabilizando-se por sua substituição, em caso de rejeição.

7. Caracterização dos Materiais em Laboratório

Como contrapartida do CETEC, realizou-se a Verificação Preliminar, conforme normas da ABNT, catalogando-se e identificando-se 16 amostras de Esferas e Microesferas de Vidro, 04 amostras de Tinta à Base de Resina Acrílica Emulsionada em Água, 04 amostras de Tinta à Base de Resina Acrílica (Solvente), 13 amostras de Termoplástico Extrudado, 04 amostras de Termoplástico Aspergido. Após esta verificação, passou-se à execução dos ensaios de caracterização, de acordo com as normas da ABNT.

8. Aplicação dos Materiais nos Trechos-teste

A aplicação dos materiais nos trechos-teste foi realizada de acordo com os seguintes passos:

8.1. Execução de Sinalização Local e Informação à População

A população foi informada através da imprensa, por matérias publicadas em jornais, bem como através das próprias placas indicativas implantadas no início de cada trecho-teste, tendo sido confeccionadas conforme padrão determinado pela Secretaria de Transportes e Obras Públicas do Estado de Minas Gerais, contendo as seguintes informações: nome da pesquisa, local (trechos-teste), órgão financiador, órgãos executores, valor da pesquisa, período de duração. Para a implantação dos materiais no campo, algumas medidas foram tomadas, principalmente no aspecto da segurança do tráfego, dada à impossibilidade de retê-lo ou mudá-lo de rota durante os trabalhos.

Segundo dados obtidos na pesquisa de tráfego e através das informações da Polícia Rodoviária Estadual, verificou-se que domingo era o dia de menor volume de veículos pesados atuantes no segmento-teste, sendo, portanto, o dia mais estratégico para início dos serviços e até para as avaliações periódicas a serem realizadas posteriormente.

Conforme os padrões de segurança viária, foram utilizados cones, cavaletes, tambores plásticos e sinalizadores manuais para desviar o tráfego para a pista esquerda, nos segmentos do Km 18 e do Km 24, sentido Pedro Leopoldo–Belo Horizonte.

Como havia dois trechos destinados à aplicação dos materiais previstos na pesquisa, estipulou-se o Km 24 como o local de início das atividades.

8.2. Equipamentos Utilizados na Aplicação dos Materiais

Utilizaram-se duas unidades mecânicas auto-propelidas, sendo uma para aplicação de tintas e outra para aplicação de termoplásticos aspergidos. Utilizou-se ainda, carrinho aplicador para o espalhamento das esferas de vidro e sapatas, para a aplicação do termoplástico extrudado.

Todos os equipamentos foram devidamente calibrados, para que se obtivesse a taxa de esferas e espessura de filme desejadas.

8.2. Calibragem dos Equipamentos

A implantação de demarcação viária requer periodicamente, a calibragem e ajustes do equipamento, devido à mudanças nas condições de aplicação, relacionadas aos tipos de materiais, superfícies, dimensões das demarcações e recargas do equipamento.

Em razão da ausência de sistemas eletrônicos de auto-regulagem, a ajustagem das quantidades e dimensões aplicadas foram obtidas por tentativas, associadas à prática dos operadores e encarregados, compondo um conjunto de aplicações, pesagens e medições até a obtenção dos parâmetros requeridos.

Como esse trabalho previa a aplicação de diversos tipos de materiais, utilizando diferentes equipamentos, essa etapa demorou bem mais do que o previsto. Foram necessárias três semanas para os ajustes, inúmeros testes e consumo de material, até que se obtivesse uma perfeita integração da equipe de aplicação e o funcionamento adequado dos equipamentos.

Ainda assim, durante a realização dos trabalhos, houve faixas que não ficaram a contento, seja por distribuição inadequada das microesferas ou por espessura de película aquém do especificado. Essas faixas foram rejeitadas e reaplicadas novamente.

É importante considerar também que, nas aplicações em que se utilizou o sistema “double-drop”, principalmente nos termoplásticos, não se conseguiu o resultado esperado, em função da dificuldade de aplicação desse sistema em faixas com apenas 18,80 m de comprimento. Entretanto, os resultados obtidos foram suficientes, para o estabelecimento dos parâmetros mínimos de desempenho dos materiais quanto à retrorefletividade.

Durante o processo de calibragem dos equipamentos, foram verificados os seguintes itens:

♦ Velocidade de Trabalho

Avaliou-se a velocidade do equipamento aplicador de tintas em uma via lateral (também pavimentada), próxima ao trecho-teste. Marcou-se na via uma distância de 12 metros, fazendo-se com que o equipamento a percorresse dez vezes, cronometrando-se todas as passagens. Obteve-se, assim, uma média em relação ao tempo de deslocamento do equipamento, igual a 17,9 segundos. A velocidade do equipamento foi estimada pela razão entre a distância e a média dos tempos. Logo, $12 \text{ metros} \div 17,9 \text{ seg.} = 0,67 \text{ m/s}$, ou aproximadamente, $0,67 \times 3600 = 2,4 \text{ Km/h}$. Essa velocidade foi mantida constante em todas as aplicações com tinta de demarcação viária.

♦ Largura da Faixa

Para que se aplicasse a faixa na largura de 15 cm, experimentaram-se várias alturas para a pistola de aspersão de tinta, constatando-se que para a altura de 20 cm, a faixa demarcada mantinha os 15 cm.

♦ **Espessura de Película Úmida de Tinta**

Na ajustagem de espessura de película úmida para as tintas, testaram-se diversas pressões de aspersão (ar comprimido). Obteve-se a espessura de 0,6mm a 46 libras/pol.², com a velocidade constante de 2,4 Km/h. A medição da espessura de tinta foi realizada com o medidor de película úmida “Erichsen”. O mesmo procedimento foi repetido para a calibragem da espessura do filme de material termoplástico, cuja espessura seca foi medida com paquímetro “Mitutoyo”.

♦ **Aspersão de Microesferas**

Para calibragem da quantidade de microesferas aspergidas pelo equipamento, de acordo com as taxas estipuladas, procedeu-se da seguinte forma:

- Com o tanque cheio de tinta, aspergiu-se material sobre uma placa metálica, de peso e dimensões conhecidas, de acordo com a espessura especificada. Pesaram-se, então, placa + tinta, denominando-se P_1
- Em uma nova passagem do equipamento, aplicou-se em uma nova placa de peso conhecido tinta e também microesferas, verificando-se a pressão do ar comprimido durante a aplicação da mesma. Pesou-se o conjunto placa + tinta + microesferas, denominando-o P_2
- A diferença entre P_2 e P_1 é o peso das microesferas ancoradas na tinta.
- A razão entre o peso das microesferas pela área aspergida na placa, determina a taxa de microesferas aplicadas.
- Este procedimento foi repetido até que se conseguisse a taxa prevista, verificando-se a pressão do ar comprimido, cujo valor foi fixado e mantido nas aplicações.
- Durante a calibragem, avaliou-se a uniformidade de distribuição das microesferas II-A, III-A, III-B e III-C, sobre a tinta e termoplástico, com o auxílio de uma lupa.

8.3. Preparação das Superfícies

Promoveu-se uma limpeza geral do local através de varrição manual, de modo que as superfícies se apresentassem secas e isentas de impurezas, garantindo a aderência desejada dos materiais na pista.

8.4. Controle das Condições de Aplicação dos Materiais

Imediatamente antes da aplicação de cada um dos materiais na pista, foram medidos e anotados em formulários apropriado os seguintes dados:

♦ **Temperatura do pavimento**

Foi medida a temperatura do pavimento nas quatro trilhas de roda e tirada a média. A medida foi realizada à 15 cm da superfície pavimentada com o aparelho “Termotemp – noncontact thermometer, Model HTT-2, Pavemark”, de propriedade do DER/MG.

♦ Temperatura ambiente e umidade do ar

Utilizou-se um higrômetro, para medição da temperatura ambiente e umidade do ar.

No período em que foram realizadas essas aplicações, registravam-se altas temperaturas no país, atribuídas ao fenômeno “El Niño”, especialmente em Minas Gerais. Em decorrência deste fato, algumas aplicações foram realizadas sob temperaturas ambientes maiores do que as normalmente adotadas (entre 15°C e 35°C) e temperaturas do pavimento maiores do que 40°C. Entretanto, não se observou durante as aplicações qualquer efeito negativo nos materiais aplicados, relacionados com as temperaturas anotadas.

8.5. Dimensões e Disposição dos Sistemas

As dimensões e disposições das faixas que haviam sido definidas ao início da pesquisa, tiveram que ser modificadas em função do tamanho dos equipamentos e necessidade de espaço para manobras. Assim, a aplicação dos sistemas perpendicularmente ao sentido do tráfego, foi substituída pela aplicação oblíqua (escondidade de 66°) e a largura entre faixas passou de 30 cm para 50 cm. Também, a largura de cada faixa foi alterada de 10 para 15 cm, aumentando a área a ser medida, visando resultados mais homogêneos nas leituras de desgaste e de retrorrefletância. Assim, tem-se:

- ♦ **Largura da faixa:** 15 cm
- ♦ **Comprimento da faixa:** 18,80 cm
- ♦ **Escondidade:** aproximadamente 66° à direita
- ♦ **Largura entre faixas:** 50 cm
- ♦ **Espessura (úmida) para tintas:** 0,6 mm
- ♦ **Espessura (seca) termoplástico aspergido:** 1,5 mm
- ♦ **Espessura (seca) termoplástico extrudado:** 3,0mm
- ♦ **Espessura (seca) elastoplástico:** 1,5 mm.

8.6. Sistemas Aplicados

Definiram-se oito baterias de testes compostas de três sistemas de aplicação cada, utilizando-se as taxas usuais de esferas e microesferas de vidro para cada material. Essas baterias de testes foram aplicadas nos trechos-teste, no Km 18 e no Km 24.

♦ 1ª Bateria de Testes:

Tinta à base de resina acrílica (solvente), cor branca, com:

- Microesferas II-A (350 g/m²)
- Microesferas I-B (200 g/l) + II-A (350 g/m²)

- Microesferas I-B (200 g/l) + II-A (200 g/m²) + III-A (350 g/m²)

♦ **2ª Bateria de Testes:**

Tinta à base de resina acrílica (solvente), cor amarela, com:

- Microesferas II-A (350 g/m²)
- Microesferas I-B (200 g/l) + II-A (350 g/m²)
- Microesferas I-B (200 g/l) + II-A (200 g/m²) + III-A (350 g/m²)

♦ **3ª Bateria de Testes:**

Tinta acrílica emulsionada em água, cor branca, com:

- Microesferas II-A (350 g/m²)
- Microesferas I-B (200 g/l) + II-A (350 g/m²)
- Microesferas I-B (200 g/l) + II-A (200 g/m²) + III-A (350 g/m²)

♦ **4ª Bateria de Testes:**

Tinta acrílica emulsionada em água, cor amarela, com:

- Microesferas II-A (350 g/m²)
- Microesferas I-B (200 g/l) + II-A (350 g/m²)
- Microesferas I-B (200 g/l) + II-A (200 g/m²) + III-A (350 g/m²)

♦ **5ª Bateria de Testes:**

Termoplástico aspergido, cor branca, com microesferas I-A (20% em peso), agregadas ao material durante sua fabricação e mais:

- Microesferas II-A (450 g/m²)
- Esferas III-B (500 g/ m²)
- Microesferas II-A (250 g/m²) + Esferas III-B (400 g/m²)

♦ **6ª Bateria de Testes:**

Termoplástico aspergido, cor amarela, com microesferas I-A (20% em peso), agregadas ao material durante sua fabricação e mais:

- Microesferas II-A (450 g/m²)
- Esferas III-B (500 g/ m²)
- Microesferas II-A (250 g/m²) + Esferas III-B (400 g/m²)

◆ 7ª Bateria de Testes:

Termoplástico extrudado, cor branca, com microesferas I-A (20% em peso), agregadas ao material durante sua fabricação e mais:

- Microesferas II-A (450 g/m²)
- Esferas III-C (500 g/ m²)
- Microesferas II-A (250 g/m²) + Esferas III-C (400 g/m²)

◆ 8ª Bateria de Testes:

Termoplástico extrudado, cor amarela, com microesferas I-A (20% em peso), agregadas ao material durante sua fabricação e mais:

- Microesferas II-A (450 g/m²)
- Esferas III-C (500 g/ m²)
- Microesferas II-A (250 g/m²) + Esferas III-C (400 g/m²)

Inclusão do material elastoplástico

O material elastoplástico, por não ser de uso comum em rodovias nacionais, comparativamente às tintas e termoplásticos, não havia entrado no escopo do projeto de pesquisa. Entretanto, um fabricante teve o interesse em avaliá-lo, doando algumas amostras para serem aplicadas.

O material chegou ao campo apenas no dia da implantação, portanto não foram realizados os ensaios de controle de qualidade previstos para o recebimento do material.

A quantidade doada só era suficiente para a aplicação em um dos trechos-teste. Optou-se, então, por sua aplicação no pavimento betuminoso (CBUQ), por ser este o tipo de pavimento mais comum no País. Sua aplicação e monitoramento tiveram caráter apenas experimental.

8.7. Formulários Utilizados na Aplicação dos Materiais

Durante a aplicação dos materiais no campo, foram anotados dados quanto ao tipo de sistema e pavimento em foi aplicado, data e hora da aplicação, temperatura do pavimento, temperatura ambiente, umidade do ar e tempo de secagem do material, em formulários elaborados para este fim.

9. Avaliação Periódica dos Sistemas Aplicados

Durante a avaliação periódica dos materiais, foram observados os seguintes procedimentos:

9.1. Definição das Trilhas de Rodas

Preliminarmente à aplicação dos sistemas, estabeleceu-se que os mesmos seriam avaliados quanto a retrorrefletância e desgaste nas trilhas de rodas das duas

semi pistas, objetivando conhecer e estabelecer o desempenho nas condições de tráfego leve (semi-pista esquerda) e tráfego pesado (semi-pista direita).

Assim, após a implantação dos sistemas, demarcou-se na semi-pista esquerda (SPE) e direita (SPD) as trilhas de rodas interna e externa (180 x 15 cm), para cada faixa de tráfego. As trilhas de rodas externas (TRE) foram dispostas a 0,50 metros dos bordos e as trilhas de rodas internas (TRI) foram dispostas a 0,50 metros do eixo da pista.

As trilhas de rodas foram inicialmente pré-marcadas com giz branco, junto à cada sistema aplicado. Esta pré-marcação foi posteriormente substituída por uma marcação definitiva, com pequenos quadrados de material elastoplástico, que foram colados ao pavimento, de forma a assegurar o correto posicionamento do retrorrefletômetro e grelha nas futuras avaliações periódicas.

9.2. Cronograma das Avaliações

As avaliações dos sistemas implantados quanto a retrorrefletância e desgaste obedeceram o cronograma abaixo e contaram com quatro medidas de retrorrefletância e uma de desgaste em cada uma das trilhas de rodas e para cada faixa executada.

Inspeção (nº)	Avaliação
1	Imediatamente após aplicação
2	48 horas após a aplicação
3	2 semanas após a aplicação
4	1 mês após a aplicação
5 a 10	A cada mês subsequente
11 a 13	A cada dois meses subsequentes

9.3. Coleta de Dados

De um total de treze avaliações, foram registradas doze mil seiscentos e oitenta e oito leituras de desgaste e retrorrefletância. Estes dados foram separados por cada tipo de material, de forma que pudessem ser utilizados em análises comparativas.

9.3.1. Formulários de Desgaste

Foram elaborados os formulários para coleta de dados no campo, referentes ao desgaste observado nos materiais aplicados, após terem sido submetidos à ação do tráfego e intempéries.

Para fins de comparação entre os materiais, foram medidos como desgaste os descolamentos ou solturas observados nos sistemas aplicados.

9.3.2. Formulários de Retrorrefletância

Foram elaborados os formulários para coleta de dados no campo, referentes à retrorrefletância medida nos materiais aplicados, logo após a aplicação e após terem sido submetidos à ação do tráfego e intempéries.

9.4. Gráficos

Para melhor visualização e entendimento do comportamento de cada sistema aplicado, foram elaborados gráficos, contendo as médias dos valores obtidos em cada trilha de rodas para os valores de Desgaste e Retrorrefletância.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

1. Análises Comparativas

De acordo com a metodologia adotada com relação à avaliação de desgaste, foram tomadas 04 medidas por faixa em cada avaliação e foram realizadas 13 avaliações no total, sendo que nas primeiras 04 avaliações não houve desgaste em nenhum sistema implantado. Sabendo-se que foram implantadas 28 faixas no Km 24 (CBUQ) e 24 faixas no Km 18 (CCP), foram realizadas 1.872 leituras de desgaste.

Com relação à avaliação de retrorrefletância, foram tomadas 16 medidas por faixa durante 13 avaliações. Sabendo-se que foram implantadas 28 faixas no Km 24 (CBUQ) e 24 faixas no Km 18 (CCP), foram realizadas 10.816 leituras de retrorrefletância.

Como as datas de implantação variam para cada tipo de material e as datas de avaliação periódica foram fixas, equívale dizer que, por exemplo, na última medição, alguns materiais estavam implantados há 300 dias, enquanto outros já o estavam há 320 dias.

Para efeito comparativo, consideraram-se, então, intervalos de 0, 10, 30, 50, 100, 150, 200, 250 e 300 dias, esclarecendo-se que o intervalo de 0 a 50 dias apresenta mais variações nos valores de retrorrefletância.

Os valores de retrorrefletância relativos a esses intervalos foram obtidos por interpolação gráfica, inclusive aqueles relativos aos 100 dias, pois as medições nesse período não foram consideradas válidas, uma vez que o equipamento para medidas de retrorrefletância encontrava-se descalibrado.

A partir destes dados e juntamente com os gráficos, elaborou-se a análise comparativa dos sistemas.

♦ Desempenho dos Materiais Quanto ao Desgaste em Pavimento Flexível

Todos os materiais apresentaram desempenho satisfatório. O pavimento flexível apresenta textura normalmente rugosa, o que auxilia sua aderência. Além disto o material de demarcação mais fluido irá penetrar nos interstícios do pavimento.

Pode-se dizer também que um dos promotores de aderência dos termoplásticos ao pavimento flexível é a alta temperatura em que são aplicados (aproximadamente 200°C), fundindo-se ao asfalto e favorecendo a união entre os dois materiais.

Nas tintas (solvente) também pode se verificar uma boa aderência, pois, além da menor viscosidade da tinta, o asfalto se dissolve superficialmente pela ação do solvente, possibilitando uma melhor interação entre a tinta e o pavimento.

♦ Desempenho dos Materiais Quanto ao Desgaste em Pavimento Rígido

Com exceção da tinta acrílica solvente, todos os outros materiais apresentaram desempenho insatisfatório. Tal fato pode ser explicado pelo mecanismo da formação do filme. Estas tintas secam por evaporação do solvente e esse processo leva aproximadamente 55 min, possibilitando que a película úmida de tinta penetre nos poros do pavimento, conseguindo, após a secagem, maior ancoragem. Nas tintas (água), mais viscosas que as tintas solventes e cujo mecanismo de formação do filme é a coalescência, as partículas de resina dispersas se aglomeram rapidamente (cerca de 10 min), com a evaporação do dispersante, proporcionando menor penetração, quando comparadas com as tintas (solvente) nas poucas reentrâncias de um pavimento com textura fechada. Nos termoplásticos que curam em contato com o ar, em cerca de 1 a 3 min. e são extremamente viscosos à penetração é quase nula, influenciando negativamente na aderência.

A falta de aderência também pode ser explicada pela textura superficial (fechada) do pavimento de concreto. Inclusive, era praxe na comunidade técnica, indicar-se a aplicação de promotor de aderência apenas nos pavimentos de concreto recém construídos, antes da execução da demarcação viária, pois se pensava que a falta de aderência era provocada principalmente pelo produto líquido aspergido sobre a superfície da pista, para evitar a evaporação da água durante o processo de cura do concreto. Entretanto, nesse estudo, pode-se comprovar que mesmo em pavimentos de concreto antigos, como é o caso do trecho-teste no km 24 da rodovia MG-424, foram observados problemas quanto à aderência, o que pode ser atribuído então à interface.

♦ Desempenho dos Materiais Quanto à Retrorrefletividade

Os valores de retrorrefletância observados nos sistemas onde se utilizaram esferas III-B ou III-C em conjunto com as microesferas II-A em termoplásticos, não apresentaram os resultados esperados. Acreditam-se que as taxas aplicadas embora usuais, foram excessivas, comprometendo o desempenho dos sistemas.

Observou-se que os valores de retrorrefletância dos vários sistemas (materiais e microesferas), devido à diferente opacidade do pigmento, são em média 30% inferiores aos valores na cor branca. Isto sugere o estabelecimento de valores diferenciados, conforme a cor da demarcação.

Independentemente da cor e do tipo de pavimento em que foram aplicados, as maiores médias para os valores de retrorrefletância obtidas foram $R_L = 460 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Termoplástico aspergido), $R_L = 440 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Elastoplástico), $R_L = 420 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Termoplástico extrudado), $R_L = 400 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Tinta acrílica solvente) e $R_L = 380 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Tinta acrílica água), cuja média é igual a $R_L = 420 \text{ mcd/lux/m}^2$.

Isto leva a crer que, com equipamentos usuais de demarcação e com materiais também comuns no mercado nacional, pode-se executar demarcações com valores de retrorrefletância bem superiores ao valor de 150 mcd/lux/m^2 .

Em relação aos valores de retrorrefletância residual obtidos, ao fim de 300 dias, os maiores valores são: $R_{Lr} = 190 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Elastoplástico), $R_{Lr} = 160 \text{ mcd/lux/m}^2$ (termoplástico extrudado), $R_{Lr} = 120 \text{ mcd/lux/m}^2$ (Termoplástico aspergido, Tinta acrílica solvente e Tinta acrílica água). Calculando-se a média aritmética dos valores supra citados, tem-se que a média dos maiores valores de retrorrefletância residual observados, foi de $R_{Lr} = 140 \text{ mcd/lux/m}^2$.

Outro valor preconizado no meio rodoviário referia-se à retrorrefletância residual de 85 mcd/lux/m^2 . Nesse estudo, constatou-se em observações noturnas, que valores de 130 mcd/lux/m^2 para a cor branca e amarela não apresentaram visibilidade satisfatória.

Os sistemas que apresentaram melhor desempenho em relação à manutenção dos valores de retrorrefletância ao longo do tempo, desconsiderando-se as solturas do pavimento, foram em ordem decrescente: Elastoplástico, Termoplástico Extrudado, Termoplástico Aspergido e Tintas Acrílicas (Solvente e Emulsionada em Água).

Acreditava-se também que todos os materiais de demarcação após implantação, apresentassem um decréscimo, seguido de um acréscimo, nos valores de retrorrefletância. Pelos resultados obtidos, pode-se verificar que esse comportamento ocorreu apenas nas tintas. Nestas, houve realmente um decréscimo até o 10º dia, seguido de um acréscimo, cujos maiores valores foram observados ao 30º dia e a partir daí verificou-se um decréscimo gradativo. Já, nos Elastoplásticos e Termoplásticos, ao contrário, os valores de retrorrefletância sofreram um ligeiro acréscimo até o 30º dia (sendo os maiores valores observados aos 10 dias), e daí em diante um decréscimo gradativo.

Nos materiais onde a distribuição granulométrica das microesferas aplicadas foi uniforme, a perda de retrorrefletância nas trilhas de roda foi menor.

Ao longo do tempo de observação, notou-se que a soltura de esferas de vidro, principalmente aquelas do tipo III, foi mais acentuada nos termoplásticos, do que nas tintas.

V. CONCLUSÃO

Até a elaboração desse trabalho, acreditava-se que se a aplicação e aderência dos materiais de demarcação ao pavimento fossem adequadas, o desempenho e a durabilidade destes materiais - quaisquer que fossem eles - estariam diretamente relacionados à sua espessura. Assim, quanto maior a espessura, maior seria a durabilidade e o desempenho. Dessa forma, esperava-se que o termoplástico extrudado fosse o material com melhor desempenho (espessura = 3 mm), seguido do elastoplástico e termoplástico aspergido (espessura = 1,5 mm), e finalmente das tintas acrílicas (espessura seca = 0,3 mm).

Porém, a escolha do tipo de material deve estar ligada ao maior benefício que este possa oferecer, não só a um maior intervalo entre as manutenções, mas também a uma maior eficiência na retrorrefletância, ao menor custo, para um determinado período de tempo.

O fator determinante para esta escolha deve estar ligado, principalmente, ao tipo e volume de tráfego a que os materiais serão submetidos. Algumas situações particulares, como regiões de maior precipitação pluviométrica ou de grande formação de neblina, requerem soluções mais onerosas, mas são consideradas excepcionais e ocorrem em pequena escala.

- **Quanto à retrorrefletância:**

O padrão de retrorrefletância inicia, não deve ser menor do que 220 mcd/lux/m² para as demarcações de cor branca, nem menor do que 170 mcd/lux/m² para a cor amarela.

O padrão de retrorrefletância residual não deve ser menor do que 130 mcd/lux/m² para as demarcações de cor branca e amarela.

- **Quanto ao desgaste:**

O desgaste não deverá ser maior do que 25% em relação à área total da demarcação executada

Outro aspecto importante a ser abordado é que, conforme descrito no capítulo I, os preços médios de demarcação viária praticados no mercado durante esse trabalho foram de R\$ 40,00/m² para o elastoplástico, R\$ 26,00/m² para o termoplástico extrudado, R\$ 15,00/m² para o termoplástico aspergido e finalmente R\$ 7,00/m² para as tintas acrílicas solventes.

Dessa forma, admitindo-se que os materiais de demarcação implantados foram submetidos às mesmas condições de tráfego e intempéries, pode-se calcular o custo efetivo de cada material pela equação:

$$C = C_i \div V$$

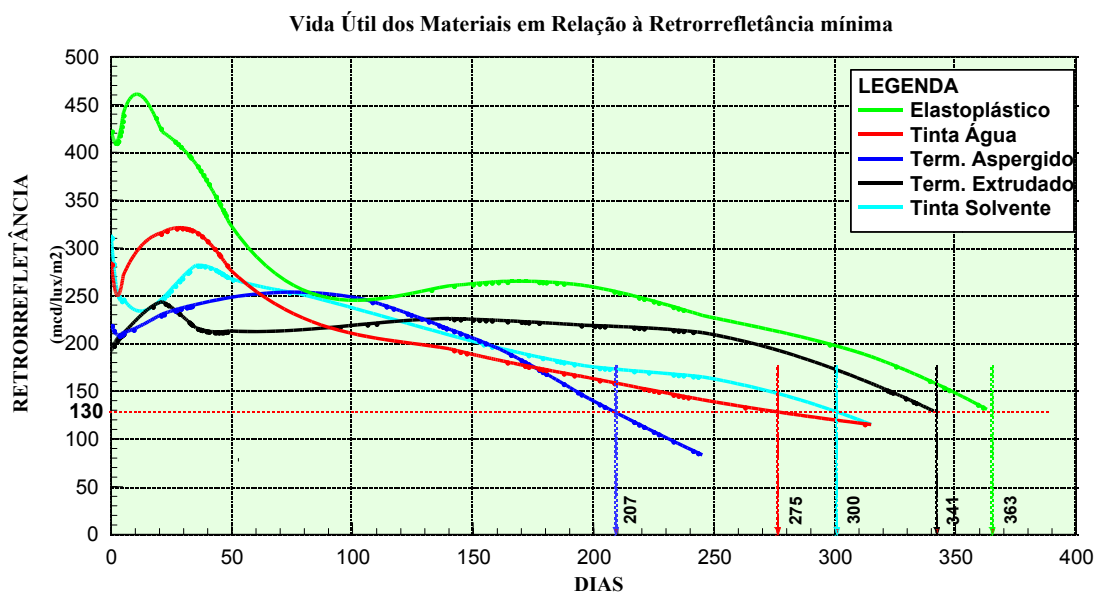
Onde,

C = Custo efetivo do material de demarcação por dia

C_i = Custo de implantação do material de demarcação

V = Vida útil, em dias.

Admitindo-se que o fim da vida útil equivale ao valor de retrorrefletância residual mínimo igual a 130 mcd/lux/m² e tomando-se os sistemas que apresentaram o melhor desempenho - Faixas n.º 3, 6, 11, 19 e 26, aplicadas no CBUQ, obteve-se através das equações dos gráficos de retrorrefletância, o tempo (dias) em que determinado sistema chegou à retrorrefletância residual mínima, adotando-se este como o valor de V.



Os resultados obtidos indicam que as tintas acrílicas podem ser cerca de 04 (quatro) vezes mais econômicas do que os termoplásticos e cerca de 05 (cinco) vezes mais econômicas do que os elastoplásticos.

Pode-se afirmar também que o sistema de demarcação viária constituído por tinta acrílica solvente e microesferas de vidro tipo I-A/II-^a foi o que obteve melhor relação custo/benefício e o sistema elastoplástico com microesferas I-B foi o que obteve a menor relação custo/benefício.

As tintas acrílicas emulsionadas em água apresentaram comportamento idêntico à tinta acrílica solvente, porém com duas vantagens adicionais: apresentam um menor tempo de secagem e como não utilizam solvente orgânico, possuem baixa toxicidade. Isto propicia melhores condições de segurança na aplicação e manuseio e não agressão ao meio ambiente.

O estudo mostra que a maioria das demarcações viárias apresentam pior desempenho no pavimento de concreto do que no pavimento asfáltico, conforme se observa nas figuras a seguir. As observações em campo mostram acentuado desgaste por descolamento e este desempenho pode estar ligado à falta de aderência ao pavimento. Comparando o desempenho dos materiais em ambos os pavimentos, e considerando, por exemplo, os sistemas de demarcação tintas (fx. 8 CCP e fx. 12 CBUQ) e termoplásticos (fx. 22 CCP e fx. 26 CBUQ), observa-se que o termoplástico pode ser até 30 vezes mais durável no pavimento asfáltico do que no de concreto e que as tintas podem ter uma vida útil até 15 vezes mais longa no pavimento asfáltico do que no de concreto, conforme mostram os gráficos a seguir.

Gráfico comparativo entre tintas - % desgaste x tempo

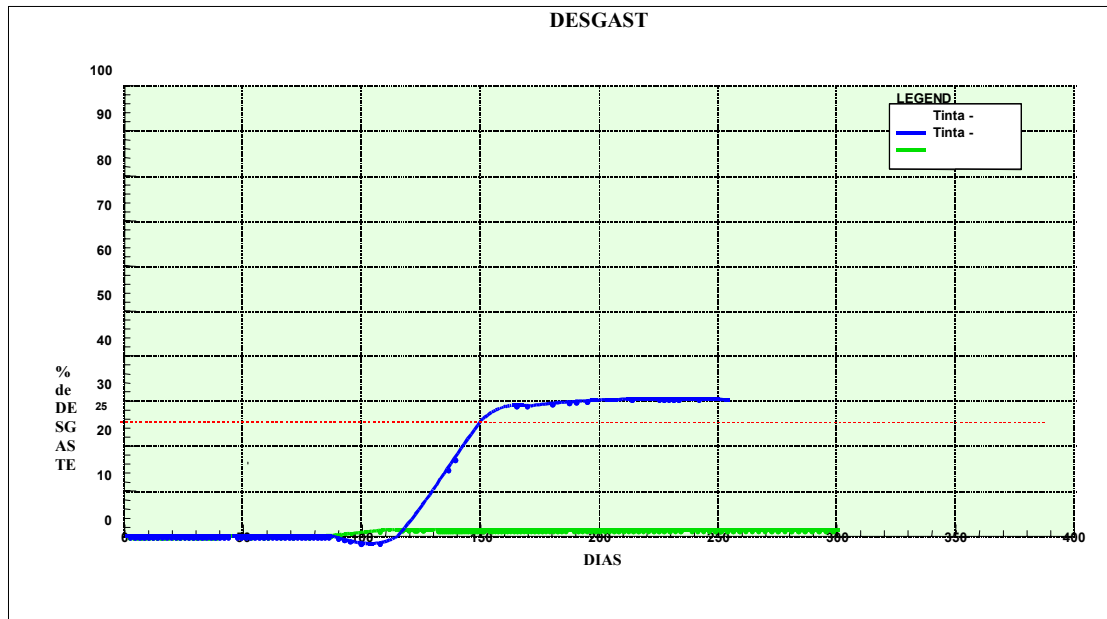
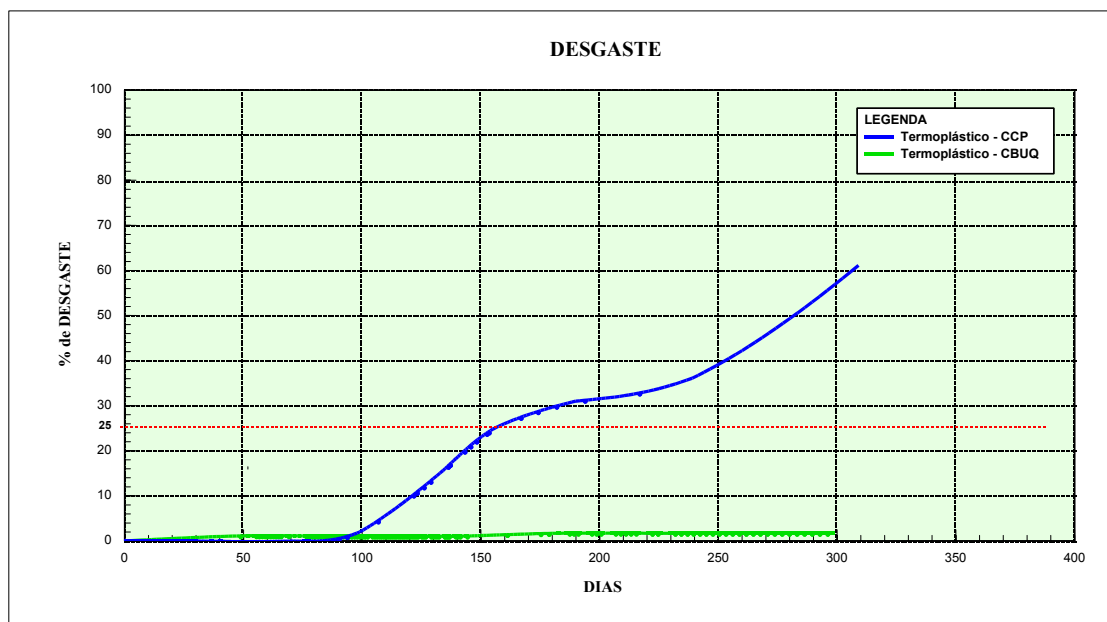


Gráfico comparativo entre termoplásticos - % desgaste x tempo



Comparando-se os materiais entre si, vê-se que o termoplástico apresentou o dobro de desgaste em relação à tinta, quando estes materiais foram aplicados em pavimento de concreto. No pavimento asfáltico, a durabilidade do termoplástico e da tinta teve resultados semelhantes, durante o período de observação considerado.

Foto 01 – Vista geral das aplicações dos sistemas no trecho-teste MG 424



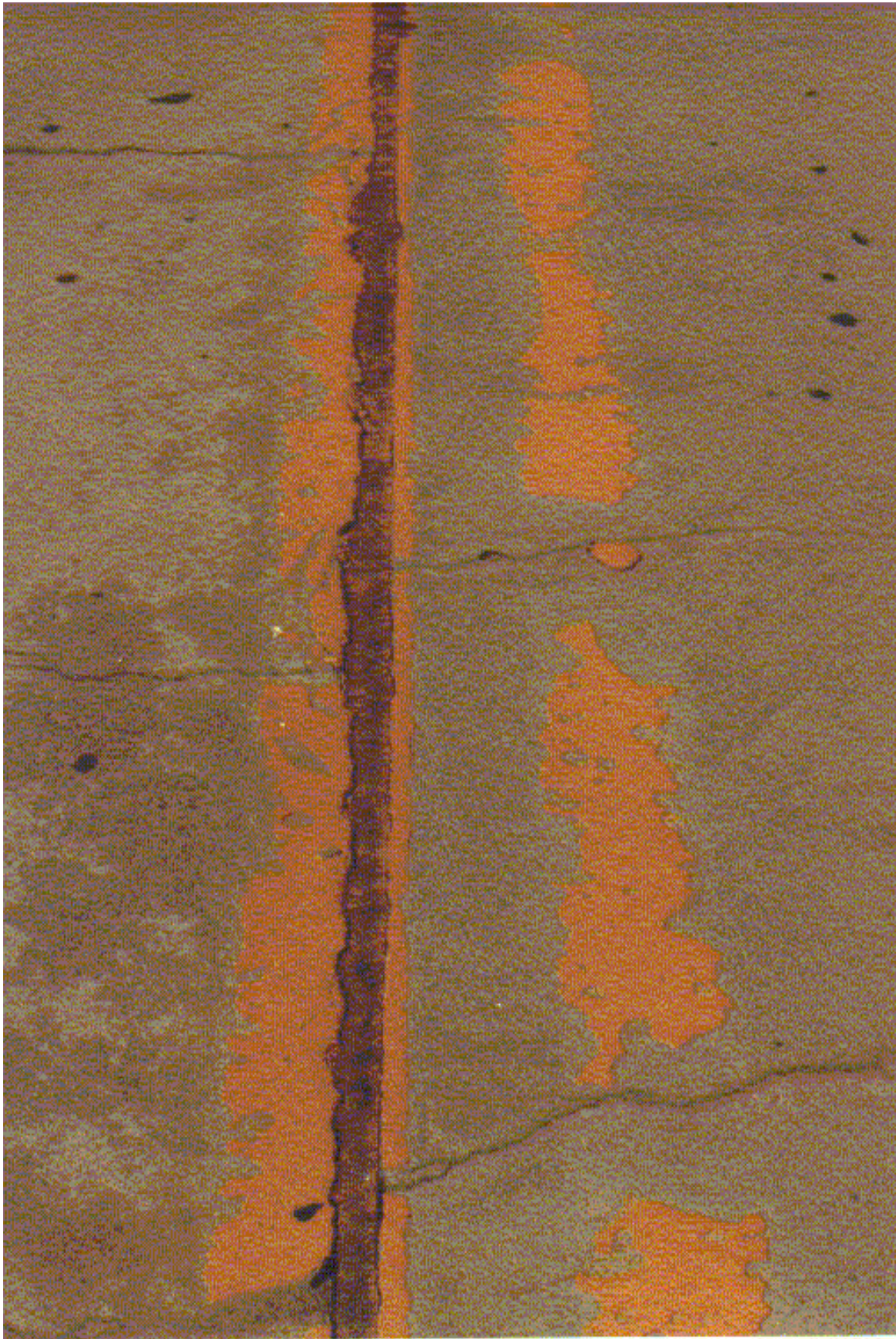
Foto 02 – Visão noturna das aplicações



Foto 03 – Soltura dos materiais aplicados em pavimento rígido
(MG 424 km 18)



Foto 04 – Soltura dos materiais aplicados em pavimento rígido
(BR 381 Santo Antônio do Amparo MG)



Os autores são Selma Schwab, M.Sc. Assessora Chefe de Normas Técnicas do DER/MG; Robson José de Cássia Afonso Ph.D, Chefe do Setor de Análises Químicas do Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC; e César Augusto Rodrigues da Silva, Coordenador da Comissão de Apoio Técnico à Obras Rodoviárias da Diretoria de Construção do DER/MG