

## QUANDO O REFORÇO ESTRUTURAL É INEFICAZ – ILAÇÕES SOBRE UM CASO CONCRETO

CARLOS M. VALVERDE MIRANDA  
*DIRECTOR TÉCNICO, GEPAVIS, LDA.*

### RESUMO

Ocorrem com indesejável frequência situações inviabilizantes da usual política de reabilitar pavimentos rodoviários flexíveis, numa perspectiva de “reforço estrutural bem dimensionado” e mediante aplicação de misturas betuminosas tradicionais. A presente comunicação apoia-se num caso concreto ilustrativo de uma dessas situações, descrevendo pressupostos, argumentos e ilações do Estudo de pavimentação efectuado, do qual resultaram propostas de reabilitação funcional optimizada materializadas em “Soluções alternativas”, uma com recurso a misturas betuminosas tradicionais e a outra envolvendo aplicação de misturas a quente de granulometria descontínua incorporando betume modificado por interacção físico-química com granulado fino de borracha vulcanizada. As ilações extraídas apontam para a conveniência de se investigar e introduzir novos critérios para a definição fundamentada de reabilitações eficazes e rentáveis.

### 1. INTRODUÇÃO

Constitui genuíno paradigma das referidas situações o caso verificado no lanço do IC 12 entre os Kms 9,8 e 21,0, que foi alvo de um Estudo visando reabilitar o pavimento, apoiado numa campanha de ensaios de carga com deflectómetro de impacto realizada em “período Outonal” e numa inspecção visual ao estado de superfície. O presente trabalho descreve sucintamente pressupostos, argumentos e ilações daquele Estudo, conducentes à definição de uma “Solução base alternativa” configurando reabilitação funcional optimizada propiciadora de durabilidade acrescida relativamente a uma “Solução de referência” exequível (extravassando um “simple” reforço), com recurso a misturas betuminosas tradicionais. A “Solução base” concebida envolve a aplicação de misturas a quente de granulometria descontínua e incorporando betume modificado por interacção físico-química com granulado fino de borracha vulcanizada obtida de pneus usados, mormente de viaturas pesadas. Como se evidencia ao longo desta comunicação, não é suficiente o “reforço estrutural”, dimensionado de acordo com os critérios tradicionais e mediante aplicação das misturas betuminosas a quente consignadas no clausulado do “CET”, isto porque se revela preponderante o mecanismo de ruína por “reflexão de fissuras”.

## **2. PRESSUPOSTOS GERAIS**

### **2.1. Patologia observável**

Salvo “situações de carácter pontual”, o pavimento no citado lanço do IC 12 apresenta níveis de regularidade aceitáveis, mas patenteia fendilhamento com expressão preocupante e prevalência das orientações longitudinal e transversal. Assim, a patologia observável indicia ruína induzida por “deformabilidade global excessiva”, com génese a partir de fissuração primária longitudinal à superfície do pavimento, a qual se vai propagando em profundidade. Não se estranha o cenário delineado dado que, normalmente, os Projectistas não tomam medidas cautelares para limitar os níveis da Deflexão máxima expectável (actualmente, ainda não existe em Portugal uma política Oficial respeitante a este tipo de critérios de dimensionamento). A hipótese formulada é coerente com as conclusões que emanam da interpretação aos resultados da campanha com deflectómetro de impacto, expressamente executada para apoio do Estudo de pavimentação.

### **2.2. Quantificação do Tráfego**

A estimativa do tráfego pesado previsível baseia-se nos dados recenseados pelo IEP no Posto 351-B/C, ao Km 13,2 do IC 12, os quais apontam para valores do TMDP de 1475 em 1999 e de 1510 em 2001. Nestes termos, verifica-se uma Taxa média de crescimento anual da ordem dos 1,2% entre 1999 e 2001. Adoptando, face à actual situação de recessão económica a nível global, uma Taxa média de crescimento anual conservativa de 1,5% até 2004, pressuposto como o “Ano de entrada em serviço”, é expectável um TMDP de 1580 neste ano, resultando um  $TMDP_v$ , no “ano zero”, da ordem dos 790. De acordo com as recomendações do “Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional” da extinta JAE, de Julho de 1995 e em vigor no IEP, trata-se de tráfego da Classe T3, para o qual se estipula a Taxa média de crescimento anual de 4,0%. Julga-se prudente adoptar um valor de 0,70 para o Factor de conversão de TMDP em Eixos-padrão equivalentes de 130 KN, algo mais conservativo do que o valor de 0,65 que, na base da relação inversa, à quarta potência, típica das estruturas flexíveis, derivaria do Factor de conversão de TMDP em Eixos-padrão de 80 KN de 4,5, que o referido Manual recomenda para tráfegos da “Classe T3”. Nestes termos e adoptando-se o período de vida de projecto de 10 anos, como constitui procedimento corrente (e adequado) para Projectos de reabilitação, calcula-se em cerca de  $2,5E+06$  o valor de N130.

## **3. METODOLOGIA SEGUIDA NA INTERPRETAÇÃO DA DEFLECTOMETRIA**

A campanha de ensaios de carga foi levada a efeito com recurso a um deflectómetro de impacto cujo tempo de aplicação de carga é da ordem dos 0,028 s (consideram-se valores lidos no ensaio e, portanto, exactos), fazendo incidir a força de pico de 65 KN em placa com 0,30 m de diâmetro e dispendo de 9 geofones para avaliar as deflexões (Df1 a Df9). Mediram-se e registaram-se, em

cada ponto ensaiado, as temperaturas  $T_{Ar}$  e  $T_s$ , bem como, a espessura, a temperatura média do pavimento até uma profundidade de 0,02 m,  $T_p(1)$ , com recurso a “par termoeléctrico” ligado a termómetro digital (num pequeno furo nas camadas betuminosas, preenchido com glicerina). As deflexões foram normalizadas a 65 KN e expressas em  $\mu\text{m}$ .

Recorreu-se ao “Método das diferenças acumuladas”, para divisão em zonas de comportamento estrutural “homogéneo”, segundo o procedimento exposto no “Manual da AASHTO, de 1986”. Procurou-se, na medida do possível, um zonamento igualizado para os dois sentidos (como se julga pragmaticamente correcto), na base da adopção, como determinante, daquele em que as deflexões fossem as mais elevadas. Na sequência da divisão em troços de comportamento estrutural “homogéneo” foi seleccionado o conjunto das deformadas a interpretar, adoptando o grau de confiança de 85%, isto é, assumindo como “deformadas representativas” de cada um dos troços de comportamento estrutural “homogéneo” aquelas que correspondessem a deflexões cuja probabilidade de serem excedidas é inferior a 15%. Assim, a selecção incidiu sobre as “bacias de deflexão” medidas que mais se ajustaram às deformadas representativas de cada troço em termos das respectivas deflexões máximas ( $Df1$ ), tendo em consideração a citada igualização. Refira-se que as deflexões foram sistematicamente medidas ao eixo da rodovia exterior em cada um dos sentidos (a zona geralmente mais deteriorada), o que constituiu causa de erros no “processo de medição”, traduzíveis em deformadas claramente fora dos parâmetros normais (excluídas no procedimento selectivo, mediante análise prévia sumária), ou na impossibilidade de se obterem interpretações com precisão aceitável. Definido o grupo de deformadas a interpretar, procedeu-se a operações de carotagem e abertura de poços, essencialmente para medir a espessura efectiva das diversas camadas constituintes do pavimento nas respectivas localizações.

Consideraram-se satisfatórios os “cálculos interpretativos” que se pautam por ajustamentos entre as deformadas medida e calculada que, aferidos pelos parâmetros AD, DAM e DQM, revelam uma precisão conducente a  $AD \leq 80 \mu\text{m}$ ,  $DAM \leq 15 \mu\text{m}$  e  $DQM \leq 400 \mu\text{m}^2$ . São interpretações ainda julgadas aceitáveis, sob reserva, caso  $80 \mu\text{m} < AD \leq 100 \mu\text{m}$ ,  $15 \mu\text{m} < DAM \leq 20 \mu\text{m}$  e  $400 \mu\text{m}^2 < DQM \leq 900 \mu\text{m}^2$ . Porém caso  $AD > 100 \mu\text{m}$ ,  $DAM > 20 \mu\text{m}$  e  $DQM > 900 \mu\text{m}^2$ , é de considerar que se trata de situações inaceitáveis, seja pela adopção de pressupostos desajustados da realidade (devendo, em princípio, retomar-se o procedimento de cálculos iterativos), seja em virtude de erro acidental de medição no trabalho de campo, não passível de correcção.

## **4. METODOLOGIA E OPÇÕES ASSUMIDAS NO ESTUDO DE PAVIMENTAÇÃO**

### **4.1. Procedimentos gerais associados ao cálculo estrutural**

Os cálculos estruturais efectuados no Estudo pressupõem a frequência característica de aplicação de carga de 8 Hz, correspondente à velocidade previsível de 48 Km/h para veículos pesados que circulem no troço do IC 12 em análise (não superior a 50 Km/h), segundo o critério implícito no

Nomograma de Van der Poel (correntemente utilizado), que admite um Período equivalente da ordem de 20/3 sobre o tempo de aplicação de carga. As temperaturas de cálculo para misturas betuminosas,  $T_C(n)$ , foram fixadas em função da profundidade aplicável (0,0n m) e determinadas com recurso exclusivo à metodologia proposta pela SHELL a partir dos dados recenseados na estação climatológica de “Nelas” (sita à latitude N de 40° 31' e longitude W de 7° 51', a 440 m de altitude, passível de ser assumida como representativa), no período “1961 / 1990” e constantes das Normais Climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, o que pressupõe o valor de 15,4 °C para a temperatura média anual ponderada do ar; daquelas Normais se conclui ainda que, na região de Nelas, as médias anuais das temperaturas “Máximas” e “Mínimas” do ar são, respectivamente, das ordens de 19,3 °C e de 8,2 °C.

Para se determinar os Módulos de Rigidez previsíveis, bem como os comportamentos à fadiga das misturas betuminosas tradicionais consideradas, adoptou-se a metodologia seguida pelo "Asphalt Institute" (na base da 9ª edição do MS-1, respectivamente: “expressão de regressão linear de Witczak” e lei de fadiga proposta, por Finn, para o programa NCHRP) [1], tendo-se em conta, no cálculo, as características mais prováveis para cada mistura betuminosa.

Embora não exista em Portugal política oficialmente definida para obviar a que as soluções de tipologia flexível incorram em risco de fractura pelo mecanismo da deformabilidade global excessiva, adopta-se o critério de limitar os níveis das deflexões máximas expectáveis, sob a acção do Eixo-padrão de 130 KN, a “valores admissíveis” tidos por convenientes (em função dos tráfegos previsíveis e da penetração nominal do betume), calculados por variação linear em gráfico no qual as abcissas são os valores de N130, em “escala logarítmica decimal” e as ordenadas são aquelas deflexões máximas expectáveis (em  $\mu\text{m}$ ). No caso vertente, em que se prevê recurso a betumes de penetração nominal 50/70, aquele gráfico define-se pela recta que une os pontos  $[N130 = 5,0E+03; Df1_A = 900 \mu\text{m}]$  e  $[N130 = 5,0E+07; Df1_A = 500 \mu\text{m}]$ ; sendo  $N130 \approx 2,5E+06$ , resulta o limite conveniente de 630  $\mu\text{m}$  para as  $Df1$  expectáveis sob a acção do Eixo Simples de 130 KN. Trata-se de procedimento cautelar proposto pelo autor, com base empírica associada à praxis e independente da obrigatoriedade de se respeitarem os critérios clássicos de dimensionamento (uma mera condição necessária, tida como muito conveniente).

Quanto aos Módulos de Deformabilidade Médios Aparentes atribuíveis a camadas granulares, estimam-se face à espessura global e tipo das camadas suprajacentes, em função das próprias espessuras e da capacidade de suporte propiciada pelos materiais de fundação, atendendo às conclusões que, sobre essa matéria, foram implicitamente alcançadas no âmbito do Acordo de Colaboração que vigorou entre a JAE e o LNEC; o Coeficiente de Poisson admitido é de 0,35. Faz-se notar que, para fins de interpretação dos resultados da Deflectometria, se aplicará o procedimento exposto na medida do possível, para relacionar Módulos desse tipo de camadas com o do horizonte mobilizável para aplicação do critério de dimensionamento assumido para “solos de fundação” (a lei proposta pela SHELL para determinar as extensões de compressão

verticais máximas admissíveis à superfície do terraplano). No caso da provável contaminação de actuais camadas granulares, serão adoptados Coeficientes de Poisson não inferiores a 0,40.

#### **4.2. Características atribuíveis às misturas betuminosas novas**

Prevê-se a incorporação de betumes com penetração nominal 50/70 nas misturas betuminosas, face às temperaturas de cálculo calculadas e ao nível do tráfego. Nos cálculos para previsão dos Módulos de Rigidez e definição da lei de fadiga adoptada, entra-se em conta com valores médios presumíveis para os parâmetros essenciais das Misturas betuminosas face às especificações que se estipulam no clausulado do CET. Esses cálculos desenvolveram-se em conformidade com a metodologia exposta em 4.1, considerando a penetração de 60 e a frequência de cálculo de 8 Hz. Porém tomam-se valores de  $T_C(n)$ , aproximados a 0,01 m, para profundidades correspondentes ao terço superior da espessura de cada camada betuminosa, para se determinar os Módulos de Rigidez  $E(8)$ , ou à base da camada inferior, para efeitos de aplicação da lei de fadiga adoptada. É um procedimento conservativo aconselhável, que conduz a uma série de cálculos prévios para as misturas previstas e gamas de profundidades com elas conotáveis e potencialmente interessantes. Face às temperaturas de cálculo e tipo de betume, adopta-se um Coeficiente de Poisson de 0,40.

#### **4.3. Mistura betuminosa envolvida na “Solução base alternativa”**

A “Solução base alternativa”, que se considera ser a mais adequada ao cenário em presença, patenteando níveis de regularidade aceitáveis e um fendilhamento que tende a desenvolver-se exponencialmente, aponta para o recurso a misturas do tipo MBD–BMB, técnica já avalizada para reabilitar os pavimentos da EN 104 entre Trofa e Azurara, da EN 105 entre Travagem e Santo Tirso, do IP 4 entre Rossas e Bragança (obras já executadas) e do IC1 entre Ourique e Santana da Serra, tendo ainda sido recentemente implementada na “Beneficiação da EN 207, na área do concelho de Felgueiras”. No âmbito do Acordo de colaboração entre a extinta JAE, ICERR, IEP e o LNEC tem decorrido, desde o início, um Programa de Investigação que confirmou algumas vantagens destas misturas relativamente às misturas betuminosas usuais, com destaque para uma resistência à fadiga entre 5 a 10 vezes superior, maior resistência ao corte e acrescidas resistências ao “envelhecimento por acção dos agentes climatéricos” e ao “processo de reflexão de fissuras” [2], [3]. Para Módulos de Rigidez resultam valores algo inferiores mas, em contrapartida, é bastante elevada a sua compatibilidade com níveis de deformabilidade global acentuados, o que minimiza os riscos de fissuração por tal motivo. Na fixação de características atribuíveis à mistura, nomeadamente o valor de 3.900 MPa para  $E(8)$  à temperatura de 24,9 °C, consideraram-se os resultados de investigações recentes [4], [5]. Acresce referir que é elevado o nível de conhecimentos sobre o processo construtivo (é praticado há cerca de 40 anos) a nível mundial, o que constitui garantia de fiabilidade. De resto, o autor já explanou em detalhe sobre o assunto noutra comunicação [6], pelo que pouco mais se adiantará no âmbito do presente trabalho. Para ilustrar a capacidade de retardamento

do processo de reflexão de fissuras conotável com misturas incorporando BMB, referem-se as conclusões extraídas de um Trecho experimental, realizado sobre um pavimento rígido muito deteriorado em 1990 no Estado do Arizona, USA, submetido a intenso tráfego pesado (TMDP de 4.000 a 7.000 entre 1990 e 1999) [7].

#### **4.4. Meios de cálculo**

Os cálculos estruturais foram efectuados recorrendo a programas adequados, assumindo-se como solicitação o Eixo-padrão de 130 KN (simples e com rodados geminados), no caso da verificação das soluções a propor e com base na carga de 65 KN sobre placa rígida com 0,30 m de diâmetro, no caso do processo de interpretação dos ensaios com deflectómetro de impacto.

Para avaliar a capacidade das soluções estudadas em retardar o processo da reflexão de fissuras através das camadas ditas de “reforço”, adoptou-se uma metodologia associada a um programa de investigação em pleno desenvolvimento [8], [9], que, não reflectindo qualquer filosofia oficial e não constituindo (ainda) Norma, Especificação ou Regulamento, repousa em dados de campo e ensaios “in situ” ou laboratoriais bastante credíveis.

### **5 – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DA DEFLECTOMETRIA**

#### **5.1. Divisão em troços de comportamento estrutural “homogéneo” e ilações primárias**

A divisão em troços de comportamento estrutural “homogéneo” foi efectuada segundo os moldes expostos no “Capítulo 3”, com base nos valores de Df1, tendo-se fixado 4 troços, designados por “A” (Kms 9,8 a 11,1), “B” (Kms 11,1 a 15,4), “C” (Kms 15,4 a 16,5) e “D” (Kms 16,5 a 21,0). Avaliou-se a seguir tal divisão na base dos valores de Df5, que reflectem a capacidade de suporte do horizonte “solos de fundação”, sendo claro que apenas os troços B e C, na Via Esquerda, não se diferenciam nessa base. Assim, afigura-se que a fissuração do pavimento não será, regra geral, conotável com as camadas betuminosas. Na prospecção de apoio à interpretação, as camadas de Base e Sub-base revelaram um nítido excesso de finos, relativamente aos valores correntes.

Julga-se de salientar que os resultados da deflectometria evidenciam níveis de deflexão máxima preponderantemente fora do limite de 630  $\mu$ m estabelecido na “Secção 4.1” para os valores de Df1 expectáveis sob o Eixo Simples de 130 KN (do qual é uma boa aproximação o recurso a um deflectómetro com a força de pico de 65 KN incidindo na placa com 0,30 m de diâmetro), para o nível de tráfego em causa ( $N_{130} \approx 2,5E+06$ ), com destaque para o troço “B”, nos dois sentidos (cerca de 82% das deflexões acima daquele limite) e para o troço “C” na Via Esquerda (100% de valores excessivos para Df1), decorrendo inevitável toda a fissuração observável no pavimento do lanço do IC 12 em análise. Globalmente, o lanço a reabilitar patenteia respectivamente 45% e 64% de valores excessivos para Df1 nas Vias Direita e Esquerda.

## 5.2. Interpretação das “bacias de deflexão” seleccionadas e análise aos resultados

Para determinar os Modelos de comportamento estrutural representativos de cada um dos quatro troços de comportamento estrutural “homogéneo”, fez-se a interpretação das seis “deformadas” seleccionadas e submetidas a prospecção específica, conforme metodologia já exposta. Insere-se a seguir um quadro, respeitante à deformada de maior relevância, uma vez que constitui modelo aplicável ao estudo de reabilitação dos troços “B” e “C”, os mais deteriorados.

**Quadro 1 – Súmula de resultados da 2.ª série de cálculos interpretativos**

Deformada ao Km 11,6 D – Ponto “2” / Troço “B”									
Pressupostos	Modelo calculado (emergente da interpretação)								
em Escavação	<b>Camadas</b>	<b>Esp. (m)</b>	<b>E (MPa)</b>	<b>C. Poisson</b>					
$t_{ac} = 0,02880$ s	betuminadas	0,180	1800	0,30					
$f \approx 5,21$ Hz (ce)	base granular	0,200	100	0,35					
$T_{Ar} \approx 18,7$ °C	sub-base granular	0,180	70	0,40					
$T_S \approx 25,2$ °C	fundação / solo	2,500	50	0,45					
$T_p(1) \approx 27,8$ °C	meio subjacente	( $\frac{1}{2} \infty$ )	250	0,40					
$T_p(6) \approx 25,8$ °C	Resultados do cálculo interpretativo								
deflexões ( $\mu\text{m}$ )	Df1	Df2	Df3	Df4	Df5	Df6	Df7	Df8	Df9
distâncias (m)	0,00	0,30	0,45	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10
valores medidos	962	697	554	448	282	178	114	78	60
val. calculados	965	704	567	448	282	180	117	77	52
desvios	+ 3	+ 7	+ 13	0	0	+ 2	+ 3	- 1	- 8
precisão obtida	AD = 21 $\mu\text{m}$			DAM = 4 $\mu\text{m}$			DQM = 34 $\mu\text{m}^2$		
Módulos a 22,7 °C (prof. $\approx$ 11 cm):		E(ce) $\approx$ 2010 MPa			E(8) $\approx$ 2270 MPa				

Os “Modelos de comportamento estrutural” obtidos são compatíveis com o mecanismo de ruína citado na “Secção 4.1” e, em boa medida, conferem consistência à hipótese, baseada no excesso de finos referido na “Secção 5.1”, de apreciável grau de contaminação das camadas granulares, embora não se comprove a origem sistemática nos solos subjacentes, dado que os “Modelos” em que o desempenho dessas camadas se revela drasticamente inferior ao expectável e mesmo em comparação ao propiciado a nível do “horizonte de fundação”, são os respeitantes aos “Troços A e C”, em situações de aterro. O baixo desempenho estrutural das camadas granulares só poderá ser avaliado em ensaios suplementares mas, “a priori”, pode apontar-se para um reduzido ângulo de atrito interno, eventualmente conotado com um reduzido valor de “Equivalente de areia”. Não é de excluir algum contributo dos procedimentos construtivos iniciais.

## **6 – DETERMINAÇÃO DAS COMPONENTES ESTRUTURAIS “SUFICIENTES”**

Os cálculos efectuados demonstram que seria, do ponto de vista meramente estrutural, suficiente o “Reforço” com 0,05 m em Betão betuminoso tradicional ou em MBD–BMB para a consecução dos fins desejados. Nestes termos, a vertente estrutural na reabilitação do pavimento não poderá ser, de modo algum, condicionante das soluções a adoptar.

## **7 – PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO “À REFLEXÃO DE FISSURAS”**

Os valores de  $E(8)$  do pavimento fendilhado são relativamente elevados, atingindo os 3300 MPa na Via Esquerda do Troço “C”, fazendo pressupor que o processo de reflexão de fissuras seja, de longe, o factor preponderante no dimensionamento de soluções exequíveis. De facto, os cálculos desenvolvidos com recurso ao procedimento específico mencionado na “Secção 4.4”, apontaram para a necessidade de aplicar, caso se considere um cenário no “limiar do inaceitável” (em que se admite que findo o período de vida de projecto de 10 anos se registre 10% de fissuras reflectidas), as espessuras mínimas em misturas betuminosas tradicionais de 0,14 m nos Troços “A e D”, de 0,15 m no Troço “B” e de 0,16 m no Troço “C”, contra a espessura de 0,04 m em MBD–BMB, a qual só aumentaria para 0,05 m no Troço “C”. Porém, considerando um cenário “aconselhável” (em que se admite que, decorridos 10 anos, se registre 6% de fissuras reflectidas), seria necessário aplicar espessuras mínimas em misturas betuminosas tradicionais superiores a 0,16 m em todos os Troços, ou a espessura de 0,06 m em MBD–BMB, que só baixaria para 0,05 m no Troço “A”.

## **8. PAVIMENTOS ALTERNATIVOS PROPOSTOS**

O confronto entre as duas séries de cálculos apresentados no Capítulo antecedente aponta para as duas alternativas mais óbvias. A primeira consiste na “Solução base alternativa”, aparentemente mais vantajosa, seja em termos económicos, de comodidade para os utentes do IC 12, ou mesmo de fiabilidade, envolvendo a aplicação, em toda a obra, de uma camada única em “MBD–BMB” com 0,06 m de espessura. A segunda, recorrendo a misturas betuminosas tradicionais, envolve a aplicação das espessuras definidas como mínimas na base do cenário no “limiar do inaceitável”, materializáveis por 0,06 m de betão betuminoso 0/14 mm em camada de desgaste e por 0,08 m de macadame betuminoso (Fuso granulométrico “A”) em camada de regularização, nos Troços “A e D” (a espessura desta camada aumenta para 0,09 m nos Troços “B e C”), precedida de uma “interface retardadora do processo de reflexão de fissuras”, preferencialmente a ser executada em argamassa betuminosa com betume modificado com polímeros e na espessura de 0,02 m, cuja eficácia se afigura ser suficiente para compensar os diferenciais nas espessuras de recobrimento que seriam extrapoláveis; esta segunda configura a muito conveniente “Solução de referência”. Note-se que este caso apresenta peculiaridades que tornam as misturas em “MBD–BMB” mais rentáveis do que o habitual (uma relação de espessuras, em confronto com misturas tradicionais, da ordem de 1/3, contra o valor de 1/2 frequentemente constatado na praxis).

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face ao que antecede, fica amplamente justificado o título da presente comunicação. Com efeito, a “habitual” filosofia de “reforço estrutural” (dimensionado a preceito), é totalmente ineficaz em cenários cuja probabilidade de ocorrência está longe de ser ínfima. Há, portanto, casos em que se julga curial procurar estabelecer outro tipo de solução.

Entre as mais relevantes ilações que é possível extrair do caso exposto, destaca-se a necessidade ou, no mínimo, a conveniência, de se investigar e introduzir novos critérios para uma definição fundamentada da política de reabilitação adequada a cada caso específico, em termos de relação entre “eficácia e custos” perspectiváveis, ou mesmo para dimensionar, a montante da “gestão em fase de exploração”, os pavimentos a construir de raiz.

Não é por acaso que, em dois Congressos Rodoviários Nacionais consecutivos, o autor aborda o tema das misturas incorporando BMB – já não se pode considerar uma Técnica inovadora e a sua aplicabilidade tem um grande potencial na conjuntura rodoviária do nosso país (por isso, o indisfarçado e reiterado interesse por essa temática).

## ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CET – Caderno de Encargos Tipo da extinta JAE revisto em Março de 1998, adoptado pelo IEP.  
TMDP; TMDP<sub>V</sub> – Tráfego Médio Diário Pesado (Anual); Idem, na Via a Dimensionar.

N130 – Número de passagens equivalentes do Eixo-padrão de 130 KN (utilizável, como base, no processo de dimensionamento).

Df1, Df2, Df3, Df4, Df5, Df6, Df7, Df8, Df9; Df1<sub>A</sub> – Deflexões, a distâncias ao centro da área circular carregada respectivamente de 0,00, 0,30, 0,45, 0,60, 0,90, 1,20, 1,50, 1,80 e 2,10 metros; deflexão máxima admissível (segundo critério de dimensionamento complementar).

T<sub>Ar</sub>, T<sub>S</sub>, T<sub>P</sub>(n); T<sub>C</sub>(n) – Temperaturas do ar, à superfície do pavimento e neste, à profundidade de 0,0n m, medidas durante os ensaios de carga com deflectómetro; temperatura de cálculo, para uma profundidade de 0,0n m.

AD, DAM, DQM – Amplitude da Amostra das Divergências, Desvio Absoluto Médio Amostral das Divergências, Desvio Quadrático Médio Amostral das Divergências.

t<sub>ac</sub>; f – Tempo de aplicação de carga do deflectómetro de impacto; frequência a ele associável.

E(ce) – Módulo de rigidez da mistura betuminosa nas condições de ensaio (para a frequência f).

E(i) – Módulo de rigidez da mistura betuminosa (para a frequência de cálculo i).

MBD–BMB – Mistura Betuminosa de granulometria Descontínua, incorporando como ligante um Betume Modificado mediante interacção físico-química com granulado fino de Borracha vulcanizada, proveniente de pneus usados.

BMB – Betume Modificado por interacção físico-química com granulado fino de Borracha vulcanizada, proveniente de pneus usados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – *Asphalt Institute* – “*Research Report No. 82-2 - Research and Development of The Asphalt Institute’s Thickness Design Manual (MS-1), Ninth Edition*”. *Asphalt Institute, Maryland, 1982*.
- [2] – Antunes, M., Baptista, F., Eusébio, M., Costa, M. e Miranda, C. – “*Characterization of Asphalt Rubber Mixtures for Pavement Rehabilitation Projects in Portugal*”. *Asphalt Rubber 2000*. Jorge B. Sousa. Vilamoura, Novembro 2000. 23 páginas.
- [3] – Antunes, M., Domingos, P., Eusébio, M. e Costa, M. – “*Studies concerning the use of Asphalt Rubber in Portugal*”. *Asphalt Rubber 2003*. Jorge B. Sousa. Brasília, Dezembro 2003. 16 páginas.
- [4] – Kaloush, K., Zborowski, A., Sotil, A., Way, G. – “*Material Characteristics of Asphalt Rubber Mixtures*”. *Asphalt Rubber 2003 Conference*. Jorge B. Sousa. Brasília, Dezembro 2003. 17 páginas.
- [5] – Kaloush, K., Sotil, A., Way, G. – “*Dynamic Modulus properties of Asphalt Rubber Mixtures*”. *Mairepav 3 (3<sup>rd</sup> International Symposium / Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control)*. Paulo Pereira, Fernando Branco. Guimarães, Julho de 2003. 9 páginas.
- [6] – Miranda, C. – “*Concepção de uma estrutura flexível inovadora, mediante a conjugação de dois processos construtivos não tradicionais*”. 2.º Congresso Rodoviário Português. Centro Rodoviário Português. Lisboa, Novembro 2002. 10 páginas.
- [7] – Way, G. – “*Flagstaff I-40 Asphalt Rubber Overlay Project - Ten Years of Success*”. *Asphalt Rubber 2000*. Jorge B. Sousa. Vilamoura, Novembro 2000. 18 páginas.
- [8] – Sousa, J., Pais, J., Way, G. – “*A Mechanistic-empirical based Overlay Design Method for Reflective Cracking*”. *Asphalt Rubber 2003*. Jorge B. Sousa. Brasília, Dezembro 2003. 25 páginas.
- [9] – Pais, J., Pereira, P., Capitão, S., Sousa, J. – “*The Reflective Cracking in the Pavement Overlay Design*”. *Mairepav 3 (3<sup>rd</sup> International Symposium / Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control)*. Paulo Pereira, Fernando Branco. Guimarães, Julho de 2003. 10 páginas.