

UMA ANÁLISE DAS SOLUÇÕES DE PAVIMENTAÇÃO DO CREMA 2ª ETAPA

Luiz Felipe da Silva da Fonseca

Engespro Engenharia Ltda

Laura Maria Goretti da Motta

Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

Os pavimentos tem vida útil curta comparada a de outras obras de construção civil devido à repetição das cargas e do clima. Desde a abertura ao tráfego acumula defeitos estruturais e funcionais, e quando estes atingem valores críticos são necessárias intervenções corretivas ou restauração. Este estudo analisa algumas das proposições previstas no catálogo de soluções de pavimentação do Programa CREMA 2ª ETAPA do DNIT, que norteia a restauração de rodovias federais. São analisadas soluções de reforço estrutural do catálogo utilizando método mecanístico-empírico e os módulos de resiliência obtidos por retroanálise de bacias deflectométricas. Foram escolhidas células representativas para vários níveis de tráfego e exemplos de trechos rodoviários. Foi utilizado software de dimensionamento de pavimento, e feita previsão da vida útil da solução indicada pelo catálogo. Verificou-se que a estrutura do catálogo, que prevê a vida útil de dez anos, nem sempre atenderá este prazo pela análise mecanístico-empírica realizada, com as hipóteses e critérios admitidos.

ABSTRACT

The pavements have short shelf life compared to other civil construction works due to the repetition of loads and weather mainly. Since opening to traffic accumulates structural and functional defects, and when they reach critical values are necessary corrective interventions or restoration. This study analyzes some of the propositions set out in the catalog of solutions Paving Program CREMA 2nd STAGE of DNIT, which guides the restoration of federal highways. Analyzed structural strengthening solutions listed in the catalog using mechanistic empirical method and resilience modules obtained by basin deflection back calculation programs. Cells were chosen representing the various proposed solutions to traffic levels and examples of highway sections. Software was used dimensioning pavement, and was performed to predict the useful life of the solution indicated by the catalog. Verify that the structure of the solutions catalog, which provides the useful life of ten years, not always meet this deadline for mechanistic empirical analysis performed with the assumptions and criteria allowed.

1. INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura em camadas, construída com materiais diversos, apoiada sobre terreno de fundação, para garantir a trafegabilidade dos veículos em qualquer condição climática, com segurança e conforto. Sua capacidade de carga é calculada a partir do conhecimento das características dos materiais disponíveis e do volume e tipo de tráfego solicitante. Nos métodos usuais de dimensionamento, são estabelecidos períodos de projeto relativamente curtos em relação a outras obras da construção civil, devido à: dificuldade de previsão futura em períodos longos das cargas repetidas; o clima é atuante intensivamente; e os materiais têm limites de número de ciclos de vida. Pode-se aumentar o tempo de vida útil aumentando-se as espessuras ou modificando as características dos materiais. A prática atual brasileira adota como período de projeto de 10 a 15 anos para pavimentos asfálticos.

Todo pavimento começa a acumular defeitos a partir da construção, não sendo comum ruptura súbita, mas sim perda da serventia e da capacidade de suporte ao longo do tempo e da passagem do tráfego. Num sistema de gestão de pavimentos, nas várias etapas de vida de serviço de um trecho, é preciso fazer avaliações periódicas e, a partir de julgamentos das características dos vários aspectos do comportamento do pavimento avaliado, tomam-se decisões de intervenção. Estas vão desde a manutenção preventiva até a reconstrução total quando o fim da vida útil se torna evidente pela gravidade dos defeitos encontrados.

O Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT) há alguns anos adota para

recuperação de suas rodovias modelos de contratação também usado em outros países, especialmente os denominados CREMA (Contrato de Restauração e Manutenção). Nestes são previstas a recuperação da rodovia e também a manutenção por determinado período, sendo gerido por resultados, adotando padrões de desempenho para avaliação do “produto entregue”. Em função destes padrões procede-se o pagamento das medições de serviço.

Em 2005 foi criado por Instrução de Serviço (IS), um programa que consolida todas as atividades de recuperação e manutenção de rodovias, prevendo o tratamento de cada uma por período de sete anos, divididos em contrato de dois tipos: CREMA 1ª ETAPA, e CREMA 2ª ETAPA. Entretanto, somente em 2008 através da portaria nº 7 do Ministério dos Transportes foi criado o PROCREMA, consolidando os programas anteriores, adotando a modalidade de contratação sob o regime de empreitada global, vedando a realização de termos aditivos para alteração quantitativa ou qualitativa do projeto, e por fim prevendo a realização dos pagamentos mediante avaliação de desempenho. Todavia em 2011, por meio do Acórdão nº 3260/2011 em sessão plenária do Tribunal de Contas da União, foram alteradas as condições do programa, em especial a vedação de termos aditivos foi retirada da portaria.

As características básicas que diferenciam os dois tipos de contratos previstos no PROCREMA, são os prazos e as intervenções: de caráter funcional no CREMA 1ª ETAPA, correspondentes a intervenções leves nos serviços de restauração no período de um ano, sendo o segundo ano para serviços de conservação. No CREMA 2ª ETAPA são intervenções de caráter funcional e também recuperação estrutural, fazendo uso de um catálogo de soluções de pavimentação elaborado pelo DNIT. O programa CREMA 2ª ETAPA estipula, em seu catálogo de soluções, uma vida útil de 10 anos para as soluções estruturais, considerando métodos de projetos de reforço tradicionais, especialmente o DNER-PRO 11/79. Todavia solicita ao projetista que realize a comparação com o dimensionamento feito com o método DNER-PRO 269/94. Os principais parâmetros de dimensionamento são o índice de suporte Califórnia, quando se indica reconstrução e a deflexão máxima do pavimento quando é reforço. Os critérios de enquadramento dos segmentos neste catálogo levam em conta: faixas de Irregularidade Longitudinal (IRI); medidas de deflexão recuperável para o segmento homogêneo, avaliando a condição atual como abaixo ou acima da deflexão admissível de projeto (Dadm) em função do tráfego; faixas de índice de gravidade global (IGG); o volume médio diário (VMD) do tráfego e o número "N".

O objetivo deste estudo foi analisar algumas das estruturas indicadas pelo catálogo de soluções, utilizando método mecanístico-empírico de dimensionamento e verificando a vida útil alcançada, para alguns trechos para os quais se tinham os dados de campo. Verificaram-se as espessuras de reforço calculadas por critérios tradicionais, analisando se a vida útil alcançada pela estrutura de pavimento projetada atinge a vida útil de 10 anos proposta pelo catálogo do CREMA 2ª ETAPA. Detalhes deste trabalho estão em FONSECA (2013).

2. O PROGRAMA CREMA

2.1 Breve histórico

Muitos estudos realizados pelo DNIT e por entidades ligadas ao modal rodoviário demonstram que o investimento regular em recuperação de rodovias se reflete diretamente na economia nacional. Existem números indicativos (DNIT, 2006) que apontam a economia de R\$3,00 na operação a cada R\$1,00 investido em recuperação, que garanta a trafegabilidade com segurança. Estes consideram como custo na operação os relacionados a congestionamentos, consumo de combustível, desgaste de veículos, poluição, tempos

adicionais de viagem e acidentes. Buscando gerir melhor os investimentos em restauração, sempre escassos, o órgão, a partir de 1996, ainda como DNER, fez mudanças significativas na sua gestão junto aos financiadores internacionais, como Banco Mundial (BIRD) e Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Em 1999 alterou sua forma de contratação das obras de recuperação, passando para contratos de manutenção de rotina em rodovias de regular a bom estado e contratos de manutenção com restauração no caso de rodovias com estado péssimo ou ruim. Foi então criado o CREMA (Contrato de Restauração e Manutenção). Nestes são previstas a recuperação da rodovia e também a manutenção, sendo gerido através de resultados, adotando padrões de desempenho. Em função destes padrões procede-se o pagamento das medições de serviço executado. Estes contratos foram no âmbito do Programa Integrado de Revitalização (PIR), parte integrante do Programa de Restauração e Descentralização de Rodovias Federais, com investimentos provenientes do Banco Mundial (BIRD) e Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

O PIR se apresentou de quatro formas: PIR I, de 2001 a 2003 com recursos do BID, o PIR II, no mesmo período que o PIR I, entretanto com recursos do BIRD, o PIR III e IV, com recursos de ambos. O PIR III é mais antigo, com contratos desde 1999 a 2003 e o PIR IV mais recente com contratos de 2003 a 2005. O PIR IV foi chamado no meio rodoviário de “Creminha” devido ao seu porte menor. Nos PIR I e II, os contratos foram por avaliação de desempenho pré-definida no ato da contratação, válida por cinco anos, através de planilha de preços globais de serviço, contemplando a restauração da rodovia e sua manutenção. A responsabilidade do projeto era da empresa contratada para execução das obras. Os PIR I e II foram previstos para segmentos que necessitavam de intervenções superficiais, visando somente garantir a recuperação funcional.

No caso do PIR III, os segmentos selecionados necessitavam de intervenções pesadas devido ao elevado grau de deterioração do pavimento e na faixa de domínio da rodovia, como elementos de drenagem, obras complementares, sinalização, contenção de taludes, etc. Neste caso o programa fugia do padrão de contrato tipo CREMA, uma vez que previa a restauração da rodovia, sem a previsão de manutenção posterior, tendo prazo suficiente para a restauração, com contratação por planilha de preços unitários. Estes atenderam a segmentos de no máximo 100 quilômetros de extensão individuais, e os projetos de restauração foram fornecidos no ato da contratação ao construtor. No PIR IV, apesar de apresentar também um prazo reduzido de dois anos, foi previsto além da restauração da rodovia, a sua manutenção e conservação durante todo o período do contrato, através de planilha de preços globais, e contratos são dos anos de 2003 e 2004.

O DNIT, em 2005, agrega o PIR IV e o CREMA através de instrução de serviço DG/DNIT 05/2005, consolidando em um único programa todas as suas atividades de recuperação e manutenção de rodovias. Este programa, para cada rodovia, foi dividido em contrato de dois tipos: CREMA 1ª ETAPA, com prazo de dois anos, e CREMA 2ª ETAPA, com prazo de cinco anos. O programa passa ter duração maior, prevendo recuperação em todo o segmento contratado, a manutenção e conservação dos dispositivos existentes e cadastrados na faixa de domínio, inclusive recuperação de passivos ambientais nesta. Os contratos foram de preços globais e serviços pagos por meio de índices de desempenho, com projetos fornecidos ao executor. Entretanto, de 2005 a 2008 pouco se viu nos contratos assinados da previsão de pagamentos por meio de índice de padrão de desempenho.

Com a Portaria nº 7 do Ministério dos Transportes, de 10 de Janeiro de 2008, foi criado o

PROCREMA, prevendo de forma objetiva a modalidade de contratação sob o regime de empreitada global, vedada a realização de termo aditivo para alteração quantitativa ou qualitativa das soluções de projeto, e prevendo a realização dos pagamentos dos serviços realizados vinculados à avaliação do desempenho dos serviços executados pela empresa. Entretanto em 2011, o Tribunal de Contas da União, em sessão plenário, produziu o Acórdão nº 3260/2011 no qual determina a retirada de cláusula em editais de licitações que impeçam a formalização de termos aditivos aos contratos para alteração quantitativa ou qualitativa das soluções de projeto. Tal decisão se baseou na violação de artigos da Constituição.

As características básicas que diferenciam os dois tipos de contratos previstos no PROCREMA, além do prazo já citado, são que no CREMA 1ª ETAPA as intervenções são de caráter funcional e intervenções leves nos serviços de restauração no período de um ano, sendo o segundo ano para serviços de conservação, aplicando premissas já previstas no PIR IV. Durante a execução das obras do CREMA 1ª ETAPA, o DNIT contrata o projeto do CREMA 2ª ETAPA, com levantamentos necessários para elaboração do Projeto Executivo das obras de recuperação e manutenção. No CREMA 2ª ETAPA faz-se uso de um catálogo de soluções, fornecido ao projetista para que dimensione a nova estrutura ou reforço.

2.2. Catálogo de soluções de pavimentação

O programa CREMA 2ª ETAPA admite em seu catálogo de soluções uma vida útil de 10 anos, considerando métodos de projetos de reforço tradicionais, especialmente o DNER-PRO 11/79. Todavia solicita ao projetista que realize a comparação com o dimensionamento através do método DNER-PRO 269/94. Os principais parâmetros de dimensionamento do reforço do pavimento são o índice de suporte ISC, quando previsto reconstrução e a deflexão máxima do pavimento quando for reforço. Os critérios de enquadramento dos segmentos neste catálogo levam em conta: faixas de Irregularidade do longitudinal do pavimento (IRI); Medidas de deflexão recuperável de projeto (Dp) para o segmento homogêneo em questão, avaliando a condição da mesma como abaixo ou acima da medida de deflexão admissível de projeto (Dadm) em função do tráfego da rodovia; faixas de Índice de gravidade global (IGG) e o volume médio diário (VMD) do tráfego e o número "N".

O CREMA 2ª ETAPA tem dois catálogos de soluções: um para revestimento em concreto asfáltico e outro para tratamentos superficiais. Neste artigo discute-se somente o catálogo aplicado a concreto asfáltico, tendo em vista que representa a maioria da malha rodoviária federal. O catálogo consiste numa matriz com 80 células para as quais são previstos conjuntos de soluções que não tem um histórico claro da sua configuração, sendo baseado no Catálogo SWAP fornecido pelo Banco Mundial. Este catálogo foi concebido com objetivo de fornecer ao órgão uma estimativa do nível de investimento necessário para restauração de sua rede, do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) em nível de rede. A aplicação em nível de projeto não se sabe como foi decidida.

Dos conjuntos de soluções de pista, seis conjuntos apresentam ainda a espessura do reforço variável, devendo ser aplicado cálculo de reforço do pavimento previsto na norma DNER-PRO 11/79. É comum que empresas projetistas elaborem planilhas automatizadas por meio de macros visando tornar ágil o processamento dos parâmetros necessários para aplicação do catálogo. O catálogo, as variáveis de entrada e os tipos de soluções para revestimento em concreto asfáltico estão apresentados na Tabela 1.

O catálogo de soluções de pavimentação indica algumas soluções equivalentes às previstas

que podem ser consideradas pelo projetista, havendo a necessidade de justificativa técnica e econômica para adoção de tais soluções em vez das soluções básicas indicadas pelo catálogo. Para cada grupo de solução básica indicada pelo catálogo, é previsto um conjunto de soluções equivalentes a serem consideradas na tomada de decisão. O projetista pode adotar soluções equivalentes, mas deve atender ao limite de custo de até 10% acima do custo da solução indicada pelo catálogo. Entretanto alguns projetistas para assumirem a responsabilidade técnica em solidariedade com o contratante indicam as soluções do catálogo, assim caso a solução indicada não apresente desempenho adequado, o projetista caso acionado, baseará sua defesa técnica nas premissas do catálogo que baliza as soluções.

Como mostrado na Tabela 1, os parâmetros IRI e IGG definem no catálogo os percentuais de área de fresagem indicadas nas soluções. Entretanto, analisando o edital de concorrência nº 386/2010-00 referente à contratação na rodovia BR-364/RO, o Tribunal de Contas da União (TCU), por meio do ofício de requisição Nº 02-021/2011, solicita ao DNIT esclarecimentos sobre vários pontos, dentre eles, o critério adotado para quantificar a área a ser fresada.

Em resposta ao TCU, o DNIT, por meio da sua Coordenação de Projetos de Infraestrutura, elabora a Nota Técnica Nº 34/2011 de fevereiro de 2011, na qual esclarece o critério adotado na quantificação do percentual da área a ser fresada: deve ser obtido considerando os defeitos da superfície do pavimento, DNIT 006/2003 - PRO e DNIT 007/2003 - PRO. Indica que o percentual da área a ser fresada deve ser obtido pelo somatório dos percentuais, por segmento homogêneo, de defeitos dos tipos trincas classe II e III, remendos e painelas. Ressalta ainda que, a critério do projetista, em casos justificados tecnicamente, podem ser considerados também ocorrências de maior gravidade, como ondulações, afundamentos localizados e de trilhas de roda. Em função do intervalo de tempo existente entre o período de levantamento dos defeitos em campo e a execução das obras de restauração, a nota técnica prevê que seja considerado valor adicional de 10% na área a ser fresada, considerando evolução dos defeitos.

Houve a concordância do TCU com estes critérios de quantificação da área de fresagem propostos pelo DNIT, e a Coordenação de Projetos de Infraestrutura do DNIT passou a solicitar que os projetistas ao indicarem as soluções de catálogo do CREMA 2ª ETAPA, desconsiderassem os percentuais de área a ser fresada, dados pelo catálogo, e indicassem tal percentual com base nos procedimentos da nota técnica nº 34/2011. Adicionalmente, a Coordenação de Projetos de Infraestrutura do DNIT na nota técnica nº 108/2011, também elaborada em esclarecimento a questionamentos do TCU, complementa a consideração do valor adicional de até 10% sobre o percentual de área de fresagem, esclarecendo que este valor deve ser usado em segmentos que apresentem tráfego considerado alto, " $N \geq 1,0 \text{ E}+07$ " e deflexões de projeto acima de 85×10^{-2} mm.

Tabela 1: Catálogo de soluções de pavimentação do CREMA 2ª ETAPA - Concreto Betuminoso (DNIT, 2008).

IRI \ VMD	N (USACE)	IRI<=3				3 < IRI <= 4				4 < IRI <= 5,5				IRI > 5,5			
		IGG<=20		IGG >20		IGG<=60		IGG >60		IGG <=100		IGG >100		IGG <=150		IGG >150	
		Defl<Dadm		Defl>Dadm		Defl<=Dadm		Defl>Dadm		Defl<=Dadm		Defl>Dadm		Defl<=Dadm		Defl>Dadm	
VMD < 1000	< 6,9E+06	LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + Micro(1,5)	F5(20%) + Micro(1,5)	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + Micro(1,5)	F5(30%) + REP + Micro(1,5)	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H4	FR5(100%) + REP + TSDpol + H4	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC5
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+TSD	
1000 ≤ VMD < 2000	≥ 6,9E+06 < 1,43E+07	LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + Micro(1,5)	F5(20%) + Micro(1,5)	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + Micro(1,5)	F5(30%) + REP + Micro(1,5)	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H4	FR5(100%) + REP + TSDpol + H4	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC7
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+TSD	
2000 ≤ VMD < 3000	≥ 1,43E+07 < 2,14E+07	LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + H3	F5(20%) + H3	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + H3	F5(30%) + REP + H3	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC8
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+TSD	
3000 ≤ VMD < 5000	≥ 2,14E+07 < 3,57E+07	LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + H3	F5(20%) + H3	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + H3	F5(30%) + REP + H3	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC9
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+TSD	
VMD ≥ 5000	≥ 3,57E+07	LG	F5(5%) + LG	Hx	F5(5%) + Hx	F5(10%) + H3	F5(20%) + H3	F5(10%) + Hx	F5(20%) + Hx	F5(20%) + REP + H3	F5(30%) + REP + H3	F5(20%) + REP + Hx	F5(30%) + REP + Hx	FR5(100%) + REP + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + H5	FR5(100%) + REP + TSDpol + Hx	REC10
Acostamentos		TSD		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(10%) TSD(90%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(20%) TSD(80%)		Reest. de base+TSD		Reest. de Base+TSD(30%) TSD(70%)		Reest. de base+TSD	

Nota:

FR5 = fresagem de 5cm
F5 = fresagem + reposição de 5cm
REP = reperfilagem com massa fina de CBUQ e= 2cm
LG = lama asfáltica grossa
Micro = micro revestimento asfáltico em duas camadas (1,5cm)
TSDpol = tratamento superficial duplo c/ polímero
REC e = reconstrução através de reciclagem de Base+ revestimento com espessura de CBUQ = e
Reest. de base = reestabilização de base com adição de 10cm de material
TSD = tratamento superficial duplo
Hx = camada de CBUQ com espessura x, onde x = 40 log DP/Dadm

3. ESTUDO DE CASO

O CREMA 2ª ETAPA contempla um catálogo de soluções de pavimentação bastante extenso e complexo, porém muitas soluções são mais funcionais e a discussão quanto à condição estrutural não é tão impactante. Assim, a partir deste quadro geral, optou-se por selecionar somente as soluções de restauração de deficiências estruturais visto que o interesse deste estudo é contribuir para a melhoria deste catálogo na análise de reforço. Pretende-se mostrar como se pode aumentar a confiabilidade dos projetos nos casos de intervenções estruturais quando se tira maior partido das informações de campo.

Inicialmente buscou-se identificar alguns segmentos rodoviários, para os quais se dispunham de dados referentes ao tráfego, irregularidade longitudinal, deflexão recuperável e o índice de gravidade global dos defeitos que são elementos necessários para a entrada na matriz de soluções de pavimentação do CREMA 2ª ETAPA. Dentro deste universo, serão considerados somente aqueles que se enquadram nas últimas colunas da tabela 1. Os dados utilizados nesta pesquisa estão em ENGESPRO (2012).

A partir do acesso a projetos reais foi possível aplicar um roteiro de dimensionamento mecanístico-empírico em um estudo de caso de um local onde se dispunha de medidas de bacias deflectométricas medidas com o FWD, para a obtenção do módulo de elasticidade a partir de um método de retroanálise. Munido dos módulos obtidos por retroanálise foi utilizado o programa SisPav (Franco, 2007) para dimensionamento do reforço com base em análise de tensões e deformações, aplicando os módulos encontrados para obter a vida útil do pavimento reforçado. Para segmentos onde havia previsão de fresagem, adotou-se um módulo equivalente, considerando para espessura final um módulo inferior ao obtido para a camada original pela retroanálise. Averiguando se tal simplificação resultaria em valores divergentes, foi calculada a vida útil para a estrutura considerando a fresagem com módulo equivalente, e também a estrutura com o módulo obtido sem fresagem e a variação foi irrelevante.

As análises foram realizadas considerando o reforço dimensionado pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94, e em casos de reconstrução, a estrutura indicada pelo catálogo e pelo método do DNER de dimensionamento de pavimentos novos. Com estes resultados foi feita uma comparação das vidas úteis encontradas pelo método mecanístico empírico e a vida útil de 10 anos prevista no catálogo de soluções do CREMA 2ª ETAPA. Após várias análises, foi selecionada a Rodovia BR-222 no estado do Ceará, ligando a cidade de Fortaleza à divisa do estado do Ceará com o Piauí. Detalhes dos levantamentos podem ser vistos em FONSECA (2013). O trecho rodoviário foi dividido em 131 segmentos homogêneos, perfazendo uma extensão total de 197 quilômetros ao longo de oito grupos de segmentos. Para este estudo foram considerados 12 segmentos que se enquadraram nas células de reforço e reconstrução.

A partir dos parâmetros de tráfego e da avaliação estrutural e funcional do pavimento dos trechos foi possível dimensionar a espessura de reforço do pavimento conforme os métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94, além de definir a área da superfície do pavimento a ser fresada conforme a nota técnica nº 34/2011. Os parâmetros utilizados e os resultados obtidos estão na Tabela 2 para os segmentos selecionados. A solução dos segmentos homogêneos 87 e 88 não adotou espessura de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e PRO 269/94, pois se enquadraram em soluções de reconstrução. Para soluções deste tipo, o catálogo fixa a espessura da camada asfáltica, variando de 5 a 10cm de acordo com o tráfego

da rodovia. Tal critério apesar de baseado no método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER difere nos limites estabelecidos: o catálogo para reconstrução, varia a espessura de revestimento indicada de 5 a 10,0cm com N, entretanto com o seguinte critério: 5 cm para $N < 6,9 \times 10^6$; 7 cm para a condição $6,9 \times 10^6 \leq N < 1,43 \times 10^7$; 8 cm para $1,43 \times 10^7 \leq N < 2,14 \times 10^7$; 9 cm para $2,14 \times 10^7 \leq N < 3,57 \times 10^7$; 10 cm para $N \geq 5 \times 10^7$.

Os segmentos homogêneos que apresentam soluções de reconstrução indicadas pelo catálogo, 87 e 88, pelo Método DNER teria espessura de 12,5 de revestimento em CBUQ, ao contrário da camada de 10,0 cm indicada pelo catálogo. Na solução indicada para o segmento 69 há divergência do percentual de fresagem indicada na solução do catálogo (5%) e o percentual de área fresada indicada pela nota técnica nº 34/2011, que indica 75%. Neste caso foram analisadas as duas condições. O catálogo nas soluções de reconstrução indica somente a espessura do revestimento e a reciclagem da base existente, não mencionando se a base reciclada deva atender aos critérios previstos no Método DNER. É comum observar projetistas realizando verificações se a base reciclada atende aos critérios de dimensionamento do método.

4. ANÁLISE MECANÍSTICA-EMPÍRICA

O critério para escolha do programa a ser utilizado para realização da retroanálise das bacias deflectométricas medidas nos segmentos homogêneos foi usar o mesmo software para a retroanálise e para verificação da vida útil de projeto do reforço. Alguns órgãos, em especial a FAA, recomendam que os programas utilizados na retroanálise tenham a mesma plataforma que os utilizados no dimensionamento (FAA, 2011). Assim, foi escolhido o SisPav (Franco, 2007) que acompanha em sua plataforma o programa Retroanálise (Figura 1), pois além da interface amigável com o usuário, o software aplica diversos modelos de previsão da vida útil brasileiros tais como previsão da fadiga de misturas asfálticas (Pinto, 1991) e deflexão admissível (Preussler, 1983). Também aplica modelos com base na deformação permanente e tensão limite no topo do subleito.

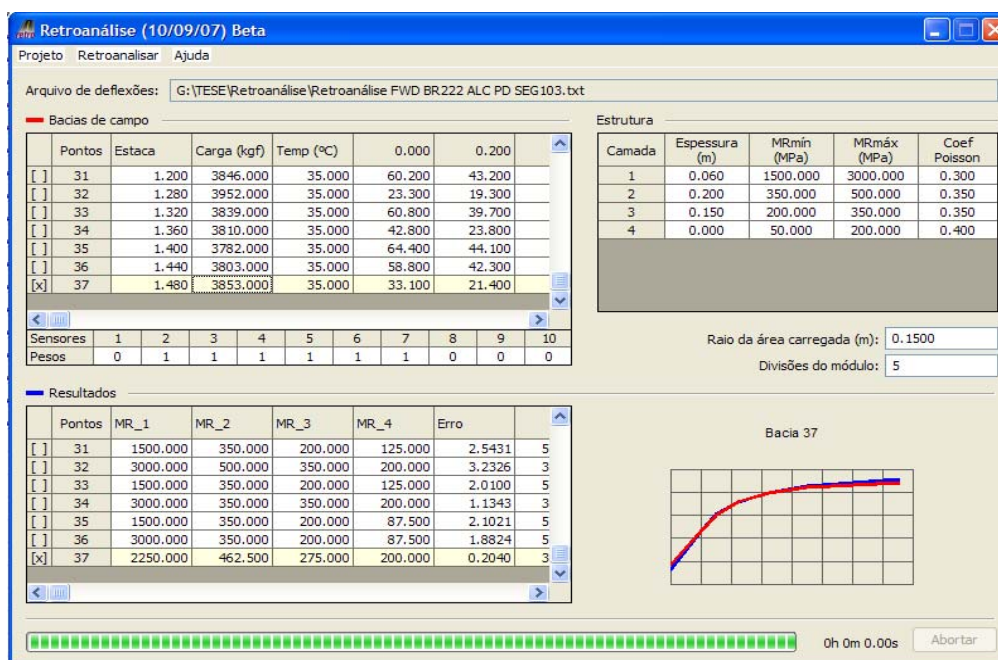


Figura 1: Interface do módulo de retroanálise do software SisPav aplicada ao trecho analisado neste estudo

Na figura 1 está mostrada a tela do programa Retroanálise, presente no sistema do SisPav, como exemplo de saída após o processamento de um dos segmentos analisados. Apresenta interface amigável para entrada das bacias, entretanto para a entrada de várias bacias de forma otimizada, utiliza banco de dados em formato .txt que deve ser seguido. Os parâmetros são: bacia deflectométrica com medidas obtidas com o equipamento FWD, temperatura do pavimento, carga aplicada e o raio da área carregada. Além destes, devem ser informadas características da estrutura, como espessura das camadas, módulos de resiliência mínimo e máximo e o coeficiente de Poisson. Foram utilizados como referência para o coeficiente de Poisson e intervalo de valores de módulo de cada camada os recomendados na instrução de projeto de pavimentação do DER-SP (2006), semelhantes aos recomendados em FAA (2011). Após serem obtidos todos os módulos retroanalisados, foi utilizado o programa SisPav, versão de 2009, para analisar a estrutura conforme várias combinações de condições, e pode-se analisar a vida útil do pavimento do catálogo, considerando várias hipóteses de projeto. Estas soluções completas podem ser vistas em FONSECA (2013). No entanto, aqui serão mostradas de forma resumida somente as vidas previstas para as soluções indicadas na Tabela 2.

Para a análise das estruturas dos seis segmentos homogêneos abordados, foi informada uma estrutura diferenciando a camada de reforço (novo revestimento), de concreto asfáltico na espessura indicada no catálogo de solução, camada de concreto betuminoso existente, base, sub-base, e subleito existentes. Para todas as camadas existentes foi adotado como módulo o modelo elástico linear obtido na retroanálise, e os coeficientes de Poisson usado na retroanálise. Para as misturas asfálticas novas referentes à camada de reforço do catálogo, adotou-se o módulo de resiliência de 4200 MPa para o concreto asfáltico faixa C do DNIT e ligante tipo CAP 50/70, típico. O módulo do revestimento existente obtido por meio de retroanálise das bacias deflectométricas de forma geral é da ordem de 60% do módulo indicado para a mistura nova do reforço, exceto para o SH 69 que apresentou módulo bem inferior, devido ao comprometimento da camada pela reflexão de trincas das camadas remanescentes que receberam reforço anterior sem o prévio tratamento dos agentes causadores do trincamento da camada existente.

Os valores de módulo para a camada de revestimento existente, base, sub-base e subleito obtidos por meio da retroanálise das bacias deflectométricas apresentaram valores coerentes com os obtidos por ensaios de materiais da região. Realizadas as análises por meio do SisPav, considerando hipóteses de tráfego em número equivalente de eixo padrão ou a composição real da frota circulante, a variação lateral do tráfego de 0,3m ou desconsiderando a variação, o nível de confiabilidade do programa de 50% e 95%, e dimensionamento do reforço por DNER-PRO11/79 e DNER-PRO 269/94, resultaram 168 casos, para os quais foram estimados, em todos os casos, valores inferiores à vida útil de projeto prevista no CREMA, que é 10 anos, conforme apresentados resumidamente na tabela 3 para algumas situações. Os resultados de todas as situações estudadas mostram que a vida útil esperada para as soluções do catálogo não vão cumprir os 10 anos de projeto.

Tabela 2: Quadro de soluções de catálogo CREMA 2ª ETAPA para os segmentos selecionados da Rodovia BR-222/CE

SEGMENTOS HOMOGÊNEOS				PARÂMETROS DECISIVOS								SOLUÇÕES DO CATÁLOGO			ÁREA DE FRESAGEM NOTA TÉCNICA Nº 34/2011
				FUNCIONAIS		TRAFEJO	ESTRUTURAIS								
Nº	QUILÔMETRO		Extensão (m)	IRI (QI/13)	IGG	N _p	h _e - CBUQ(cm)	H _{eg} (cm)	D _c Benkelman (0,01 mm)	D _{adm} (0,01 mm) PRO11/79	D _{adm} (0,01 mm) PRO269/94	CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO PRO-11/79	CREMA 2ª ETAPA + REFORÇO TECNAPAV	ACOST.	
	Inicial	Final										PISTA	PISTA		
69	289,400	290,000	600	3,00	163,48	9,53E+07	20,00	35,00	73,5	40,33	44,50	F5(5%) + H10	F5(5%) + H18	Reest. de Base + TSD	75,00
87	309,500	311,200	1.700	6,90	160,14	9,53E+07	8,00	35,00	81,3	40,33	44,50	REC10	REC10	REC + TSD	85,00
88	311,200	311,900	700	8,20	233,01	9,53E+07	8,00	40,00	96,9	40,33	44,50	REC10	REC10	REC + TSD	100,00
91	324,000	325,900	1.900	7,30	141,22	8,37E+07	9,00	35,00	67,9	41,27	45,60	FR5(100%)+REP+TSDpol+H9	FR5(100%)+REP+TSDpol+H8	Reest. de Base + TSD	90,00
Acesso Leste Caucaia - LD (Pista Dupla)															
103	0,000	1,492	1.492	2,70	24,55	5,04E+07	6,00	35,00	74,1	45,12	50,10	F5(5%) + H9	F5(5%) + H7	Reest. de Base + TSD	15,00
104	1,560	3,300	1.740	2,50	58,51	5,04E+07	5,00	31,00	87,1	45,12	50,10	F5(5%) + H11	F5(5%) + H10	Reest. de Base + TSD	30,00
105	3,300	4,100	800	2,60	14,02	5,04E+07	5,00	30,00	65,5	45,12	50,10	H6	H7	Reest. de Base + TSD	10,00
Acesso Leste Caucaia - LE (Pista Dupla)															
106	0,000	1,492	1.492	2,40	19,82	5,04E+07	6,00	35,00	73,6	45,12	50,10	H9	H7	Reest. de Base + TSD	10,00
107	1,560	3,300	1.740	2,90	25,90	5,04E+07	5,00	40,00	78,4	45,12	50,10	F5(5%) + H10	F5(5%) + H9	Reest. de Base + TSD	5,00
108	3,300	4,100	800	2,50	9,95	5,04E+07	5,00	30,00	74,6	45,12	50,10	H9	H9	Reest. de Base + TSD	5,00

Tabela 3: Resumo dos segmentos selecionados da BR-222/CE analisados pelo SisPav sem variação lateral

SEGMENTOS HOMOGÊNEOS	ESPESSURA (m)						MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)						VIDA ÚTIL DE PROJETO (anos)											
	RECONSTRUÇÃO	REFORÇO		PAVIMENTO EXIST.			RECONSTRUÇÃO / REFORÇO	REVESTIMENTO EXISTENTE	BASE RECICLADA - FRESADO (25%) + CP (3%)	BASE EXISTENTE	SUBBASE	SUBLEITO	TRÁFEGO EM NÚMERO EQUIVALENTE DE EIXO PADRÃO "N"						TRÁFEGO COMPOSIÇÃO REAL DA FROTA COMERCIAL					
		DNER-PRO 269/94	DNER-PRO 11/79	REV. EXIST.	BASE	SUBBASE							CONFIABILIDADE 50%			CONFIABILIDADE 95%			CONFIABILIDADE 50%			CONFIABILIDADE 95%		
													RECONST.	DNER-PRO 269/94	DNER-PRO 11/79	RECONST.	DNER-PRO 269/94	DNER-PRO 11/79	RECONST.	DNER-PRO 269/94	DNER-PRO 11/79	RECONST.	DNER-PRO 269/94	DNER-PRO 11/79
69		0,18	0,10	0,20	0,15	0,20	4200	800		155	230	195		1,6	0,9		0,7	0,5		4,7	2,0		2,4	0,9
69A		0,23	0,15	0,15	0,15	0,20		600		155	230	195		1,9	0,8		0,7	0,5		5,4	2,8		3,0	1,0
87	0,10			0,08	0,20	0,15		2930	700	215	250	145	0,9			0,5			2,0			0,8		
87A	0,125			0,08	0,20	0,15		2930	700	215	250	145	1,0			0,5			2,7			1,2		
88	0,10			0,08	0,20	0,20		3330	700	280	280	140	0,9			0,5			2,1			0,9		
88A	0,125			0,08	0,20	0,20		3330	700	280	280	140	1,1			0,5			2,8			1,2		
91		0,08	0,09	0,04	0,20	0,15		2200		420	345	150		1,6	1,5		0,6	0,6		2,7	3,1		1,3	1,5
103		0,07	0,09	0,06	0,20	0,15		2420		250	250	175		2,8	2,5		1,4	1,2		3,5	3,3		2,1	2,0
104		0,10	0,11	0,05	0,16	0,15		3180		170	170	120		2,0	2,0		0,9	0,9		1,0	1,1		0,6	0,6
105		0,07	0,06	0,05	0,15	0,15		3185		250	250	195		3,6	4,1		1,7	2,1		4,4	5,0		2,6	3,1
106		0,07	0,09	0,06	0,15	0,20		2320		200	260	190		2,3	2,1		1,1	1,0		2,9	2,8		1,7	1,6
107		0,09	0,10	0,05	0,20	0,20		3190		200	200	185		2,4	2,0		1,1	1,0		3,4	2,6		2,0	1,5
108		0,09		0,05	0,15	0,15		3280		215	215	185		2,6			1,2			3,5			2,0	

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar algumas soluções de estruturas de pavimento flexível previstas no catálogo de soluções de pavimentação do Programa CREMA 2ª ETAPA do DNIT, correspondentes às células que indicam cálculo de reforço do pavimento através dos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 e soluções que indicam reconstrução da estrutura por critérios semelhantes ao método de dimensionamento de pavimento flexíveis (Método DNER).

Foram realizadas comparações entre os resultados obtidos com um método mecanístico empírico de projeto de reforço e reconstrução, a partir da seleção de alguns segmentos homogêneos como estudo de caso e aplicação do software de Retroanálise, parte integrante do programa SisPav, assim obtendo o módulo por retroanálise de bacias deflectométricas. Com base nestes dados, foi utilizado o SisPav para prever a vida útil da solução indicada pelo catálogo. Ao fim destas comparações, considerando válidas as hipóteses e os critérios de fadiga admitidos, conclui-se que a análise da vida útil de projeto da estrutura de pavimento proposta pelo catálogo não atendem à vida útil de projeto de 10 anos prevista.

A análise da vida útil do pavimento nos segmentos selecionados mostra que o fator preponderante na ruptura do pavimento foi a ação acumulada do dano causado pela solicitação repetida dos eixos de carga, provocando fadiga no revestimento, resultando no trincamento excessivo em prazos menores do que o previsto.

A consideração do tráfego em número equivalente de eixo padrão "N" mostrou previsão de danos por fadiga elevada em relação à análise considerando a composição real do tráfego pesquisada no segmento rodoviário em estudo.

As soluções do catálogo para os segmentos selecionados que representam diversas condições estruturais e funcionais, mostraram-se ineficazes por não considerar as características elásticas dos materiais que compõem a estrutura. Ao analisar com o programa SisPav, algumas estruturas projetadas mostram-se potencialmente inadequadas quanto à compatibilidade de rigidez das camadas, não sendo possível reestabelecer a condição estrutural do pavimento somente pela execução de uma camada de reforço.

Ressalta-se que os resultados obtidos tão abaixo da expectativa da vida útil proposta pelo catálogo se dão em condições específicas, que também refletem os critérios de análise admitidos.

O catálogo, que teve origem em gestão para o nível de rede, hoje aplicado na indicação de soluções de restauração e reconstrução de diversas rodovias distribuídas por todas as regiões do Brasil, que possui dimensões continentais, possibilitando diferenças extremas quanto a condicionantes ambientais e materiais de ocorrência para pavimentação, ao generalizar soluções para diversos segmentos homogêneos, cujas características estejam enquadradas em um padrão segundo os parâmetros considerados, pode não refletir condições específicas de cada estrutura e combinações de materiais ocorrente nos vários trechos, ou mesmo das condições ambientais locais, sendo possível observar soluções tecnicamente inadequadas indicadas para alguns segmentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DER-SP (2006). *Instrução de Projeto de Pavimentação IP-DE-P00/001*. Instrução de Projeto. São Paulo, SP, 2006.
- DNER. Norma 11/79 – PRO - *Procedimento B - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis*. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1979.
- DNER. Norma 269/94 – PRO - *Procedimento - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – TECNAPAV (Método da Resiliência)*. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1994.
- DNIT. Instrução de Serviço 005/2005 – DG - *Instrução de serviços projetos tipo CREMA 2ª ETAPA*. MT/DNIT/DG. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. *Manual de restauração de pavimentos asfálticos*. MT / DNIT. Brasília, DF, 2006.
- _____. *Investimentos x custo operacional dos veículos*, 2006. Disponível em <http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/planejamentos/invescov>. Acesso em 13.10.2008.
- _____. Arquivo Técnico do DNIT na SR/CE - Projetos de Restauração e/ou Duplicação da Rodovia BR-222/CE - MT/DNIT/SR/CE. Fortaleza, CE. 2010.
- _____. Arquivo Técnico do DNIT - Projetos de Restauração e/ou Duplicação da Rodovia BR-222/CE - MT/DNIT/DPP. Brasília, DF 2011.
- _____. Nota Técnica Nº 34/2011 de 07/02/2011 - MT/DNIT/DPP. Brasília, DF 2011.
- _____. Nota Técnica Nº 108/2011 de 10/05/2011 - MT/DNIT/DPP. Brasília, DF, 2011.
- ENGESPRO (2012), Projeto Básico e Executivo de Engenharia para Obras de Restauração de Rodovia do Tipo CREMA 2ª ETAPA na Rodovia BR-222/CE, Projeto de Engenharia, DNIT, Brasília, DF, Brasil. 2012.
- FAA (2011), AC nº 150/5370-11b - *Use of Nondestructive Testing in the Evaluation of Airport Pavements*. DOT/FAA. EUA, 2011.
- FONSECA, L. F. S., *Análise das Soluções de Pavimentação do Programa CREMA 2ª ETAPA do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- FRANCO, F.A.C.P. *Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2007.
- MT. Ministério dos Transportes. Portaria GM nº 007, de 10/01/2008, publicada em 11/01/2008. Brasília, DF. 2008
- _____. Portaria GM nº 345, de 20/12/2011, publicada em 21/12/2011. Brasília, DF. 2011.
- PINTO, S., *Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- PREUSSLER, E.S., *Estudo da Deformação Resiliente de Pavimentos Flexíveis e Aplicação ao Projeto de Camadas de Reforço*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1983.
- TCU. Tribunal de Contas da União (2003) Acórdão 938/2003 – Plenário. Disponível em: www.tcu.gov.br> Acesso em 25 out 2012.
- TCU. (2011a) Acórdão 3260/2011 – Plenário. Disponível em: www.tcu.gov.br> Acesso em 30 out 2012.
- TCU. (2011b) Ofício de requisição Nº 02-021/2011.