

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PELO NOVO MÉTODO NORMALIZADO NO BRASIL (MEDINA)

José Geraldo de Souza Júnior¹, Laura Maria Goretti da Motta² e Rafael Cerqueira Silva³

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, PEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
email: jose.junior@coc.ufrj.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, PEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, PEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Sumário

Apresentam-se os resultados das análises de dimensionamento de pavimentos flexíveis de dois Trechos Experimentais (TEs) de uma rodovia do Brasil, utilizando dois métodos mecanístico-empíricos, um normalizado (PRO-269/94) e outro, em fase de normalização (MeDiNa). O dimensionamento pelo último faz uso da ferramenta de retroanálise de bacias de deflexão (BackMeDiNa) para obtenção dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento. O PRO-269/94 utiliza a deflexão máxima nas análises. Os resultados indicam que as análises das bacias de deflexão proporcionam um diagnóstico mais consistente da condição estrutural do pavimento, influenciando nas soluções de projeto, seja de reforço ou restauração.

Palavras-chave: Pavimentos Flexíveis; Bacia de Deflexão; Dimensionamento; MeDiNa; PRO-269/94.

1 INTRODUÇÃO

A maioria das rodovias federais do Brasil foi implantada nas décadas de 1960 e 1970. Com o tempo, o volume e carregamento do tráfego aumentaram e a frota foi modificada. A condição atual dos pavimentos de maior parte da rede rodoviária é de regular a ruim, com tendência a deterioração acelerada [1]. Portanto, a reabilitação destes pavimentos apresenta uma demanda importante. O dimensionamento de pavimentos envolve muitas variáveis de naturezas diversas, que agem simultaneamente, tais como propriedades do solo de fundação e dos materiais de construção, clima, magnitude e repetição do carregamento do tráfego e o conseqüente estado de tensões no pavimento. Os métodos de dimensionamento de pavimentos se diferem nas formas de abordar o problema e nas variáveis envolvidas, sendo classificados genericamente em empíricos e mecanístico-empíricos. Neste artigo apresentam-se as análises de dimensionamento de reforço de pavimentos de dois Trechos Experimentais (TEs), utilizando dois métodos mecanístico-empíricos, um normalizado (PRO-269/94) [2] e outro, que se encontra em fase de normalização pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (IPR/DNIT), o método MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional).

2 TRECHOS EXPERIMENTAIS

Os Trechos Experimentais (TEs), objeto do estudo, situam-se no trecho da rodovia BR-040/MG concedida à concessionária Via040 (Fig.1). A Via040 é responsável por 936,8 km da rodovia BR-040, entre Brasília/DF e Juiz de Fora/MG, que interliga duas importantes regiões do país (Sudeste ao Centro Oeste) e se destaca pela relevância estratégica para o desenvolvimento da economia brasileira. Inúmeras empresas nacionais e estrangeiras instaladas às margens da Via040 ou em cidades próximas vêm investindo pesados aportes na ampliação de suas unidades, com geração de empregos diretos e indiretos. Ao elevado volume de tráfego de caminhões, soma-se a movimentação de ônibus e veículos de passeio resultante de transportes de diferentes naturezas, desde negócios até turismo. É de suma importância para o escoamento da produção e transportes diversos, que as condições funcionais e estruturais dos pavimentos da rodovia garantam a agilidade e segurança do tráfego, com baixos custos operacionais dos veículos. Para tanto, é necessária uma gestão dos dados relativos

à condição da pavimentação, que permita uma melhor compreensão dos mecanismos que governam o comportamento dos pavimentos, visando desenvolver técnicas e soluções mais sustentáveis.

No ano de 2015 a Via040 iniciou uma pesquisa com objetivo de avaliar o comportamento dos diversos tipos de pavimentos da rodovia frente à ação do tráfego e clima. Foram definidas e implantadas 20 Unidades de Amostragem (UAs). Através de monitorações periódicas, as evoluções das condições funcionais e estruturais ao longo do tempo de cada UA vêm sendo registradas desde 2015. Destas, foram selecionadas 2 UAs para elaboração das análises pelos métodos mecanístico-empírico PRO-269/94 [2] e MeDiNa. As UA08-A e UA08-B selecionadas como Trechos Experimentais (TEs) situam-se, respectivamente, nos quilômetros km 644+770 (TE₁) e km 631+550 (TE₂), do Estado de Minas Gerais. Os TEs encontram-se inseridos no compartimento geomorfológico Quadrilátero Ferrífero e no mesmo segmento homogêneo em termos de tráfego. Entretanto, apresentam particularidades referentes às características dos materiais de construção dos pavimentos, sendo basicamente diferenciados pela camada de base (canga de minério e brita graduada). Além da monitoração pelos métodos convencionais de levantamento das condições funcional e estrutural, também é previsto para estes TEs a monitoração das tensões e deformações através de instrumentos instalados nas camadas dos pavimentos (*strain gages*, células de tensão total, sensores de umidade e termopares). A instrumentação dos TEs encontra-se em fase de execução. Pretende-se comparar as tensões e deformações monitoradas nos pavimentos com aquelas previstas pelo MeDiNa.

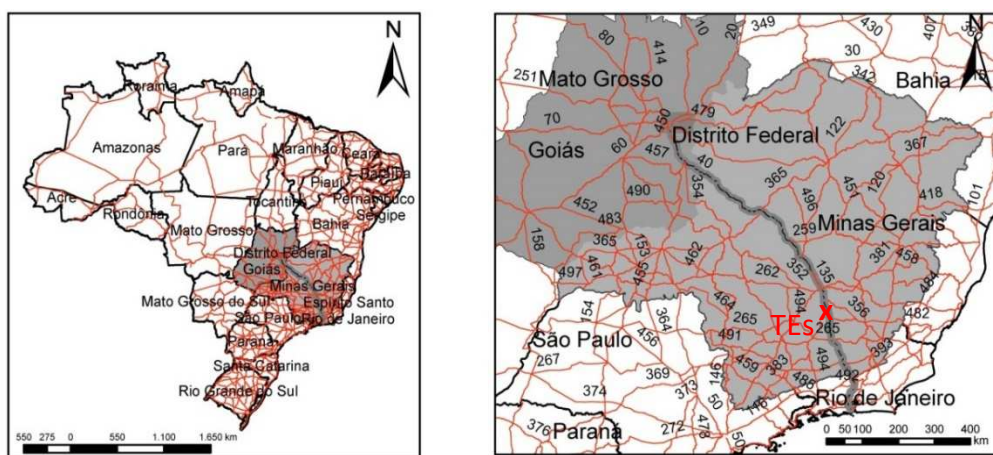


Fig.1. Mapa de situação, BR-040 e localização dos Trechos Experimentais (TEs) [3]

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

As análises da condição estrutural atual e de dimensionamento de recuperação dos pavimentos dos TEs foram realizadas pelos métodos PRO-269/94 [2] e MeDiNa. Para realização das análises foram utilizados dados de contagem e pesagem de tráfego, de levantamentos funcional e estrutural e poços de inspeção. A condição funcional foi avaliada através do Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo Método da Varredura [4]. A condição estrutural foi avaliada pelas bacias de deflexão obtidas pelo *Falling Weight Deflectometer* (FWD) e deflexão máxima obtida pela Viga Benkelman (DNER-ME 024/94) [5]. As retroanálises das bacias de deflexão para obtenção dos módulos retroanalizados foram realizadas pela *software* BackMeDiNa.

3.1 Estudo de Tráfego

O estudo de tráfego consistiu em determinar o número de veículos comerciais que trafegam sobre os pavimentos dos TEs e o carregamento atuante, através de contagens volumétricas classificatórias e pesagens. Os resultados foram convertidos em um número de operações/solicitações de um eixo rodoviário padrão (eixo simples de rodas duplas que transmite ao pavimento uma carga total de 8,2 toneladas ou 80kN), número “N”. Para determinação do número “N” foi utilizado os fatores de carga adotados no Brasil desde 1981, em parte baseados nos fatores de Turnbull [6] e para eixo triplo, fatores desenvolvidos por Murillo Lopes de Souza [7].

3.2 Condição Funcional

A avaliação funcional do pavimento foi realizada pela determinação do índice de irregularidade longitudinal (IRI), dos afundamentos em trilhas de roda (ATR) e defeitos na superfície.

Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI) é um índice estatístico que quantifica os desvios da superfície real do pavimento em relação à superfície de projeto, sendo expresso em m/km. Para o levantamento do IRI foi utilizado um perfilômetro a laser, composto por 5 sensores.

As deformações permanentes (afundamentos em trilhas de roda - ATR) são caracterizadas por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de levantamento, podendo se apresentar sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação (DNIT 005/2003-TER) [8].

No Brasil os levantamentos dos defeitos são realizados conforme procedimentos descritos pelas normas do DNIT 006/2003-PRO [9], 007/2003-PRO [10] ou 008/2003-PRO [11]. Entretanto, estes procedimentos contemplam apenas um percentual da área do pavimento, sendo o levantamento de defeitos obtido por amostragem. No presente trabalho, foi utilizado o levantamento da condição de superfície pela qualificação e quantificação dos defeitos existentes em toda área do pavimento. Este procedimento, denominado de Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo Método da Varredura, encontra-se em fase de normalização no Brasil (DNIT/IPR). Utilizando um veículo equipado com instrumentos e um sistema de automação, aquisição e processamento de dados (SAPD) é realizado o LVCI de toda a superfície da faixa de rolamento (método da varredura). A instrumentação é composta por odômetro digital, Global Position System (GPS), câmera filmadora digital e computador. Como resultado, obtém-se uma planilha contendo as quantidades de todos os defeitos previstos na Norma DNIT 005/2003-TER [8] em espaçamentos pré-definidos, expressos em área, extensão ou unidade. As imagens da superfície dos pavimentos em sincronia com o odômetro, defeitos cadastrados, diretriz em planta e perfil longitudinal da rodovia, podem ser visualizados no Vídeo Registro (Fig.2). O vídeo registro também constitui uma memória de cálculo importantíssima que valida o levantamento realizado, visto que mostra a legenda dos defeitos em sincronia com as imagens.

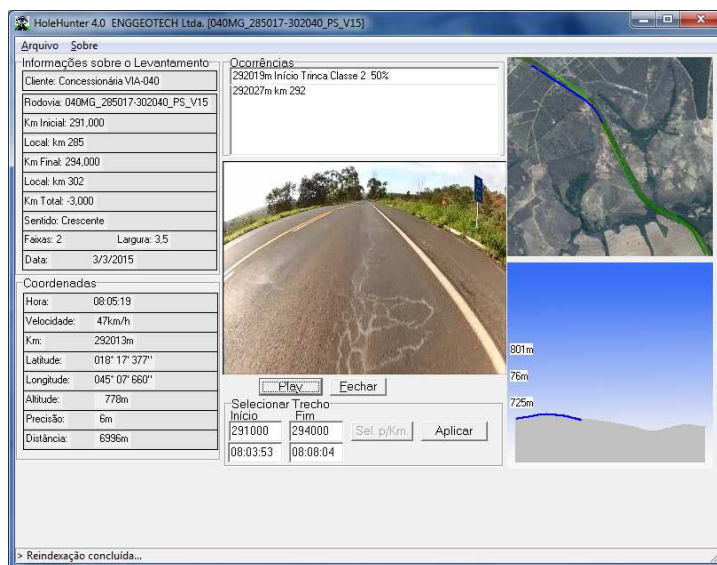


Fig.2. LVCI pelo Método da Varredura validado por Vídeo Registro [12]

3.3 Condição Estrutural

A condição estrutural das várias camadas dos pavimentos foi avaliada pela coleta de dados por meio de poços de inspeção e de ensaios não destrutivos, com *Falling Weight Deflectometer* (FWD) e Viga Benkelman. O ensaio com FWD consistiu na aplicação de uma carga de impacto, dinâmica, e nas leituras dos deslocamentos registrados por sensores acoplados e posicionados longitudinalmente a partir do centro da placa, possibilitando o conhecimento da bacia de deflexão. O levantamento deflectométrico com a viga Benkelman foi realizado de

acordo com o método DNER-ME 024/94 [5]. Utilizou-se um caminhão padronizado para este tipo de levantamento, com pneus calibrados com 0,56 MPa e carga de 80 KN no eixo traseiro. Foram realizados ensaios destrutivos com escavação de um poço (janela) de inspeção do pavimento de cada UA para determinação da estrutura e coleta dos materiais de cada camada para fins de caracterização e execução de ensaios.

3.4 Métodos de Dimensionamento

3.4.1. PRO 269/94 - TECNAPAV

O método estabelece o procedimento para determinação do diagnóstico preliminar do pavimento visando à determinação dos parâmetros de projeto, análise da condição do pavimento existente e dimensionamento do reforço do pavimento pelo critério (indireto) de fadiga, limitando os solos de subleito a três grupos de solo em função do CBR (*California Bearing Ratio*) e da porcentagem da fração de silte. O método não faz uso da bacia de deflexão, considerando apenas a deflexão máxima medida pela Viga Benkelman.

3.4.2. MeDiNa

O MeDiNa é um *software* de dimensionamento e verificação de pavimentos flexíveis que foi desenvolvido por Franco [13] em sua tese de doutorado, recebendo então o nome de SisPav. No ano de 2013, após atualização, foi denominado de SisPavBR. Em 2017, através do Termo de Execução Descentralizada celebrado entre o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), foi criada a primeira versão para testes do MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional). O método recebeu o acrônimo de MeDiNa em uma merecida homenagem ao professor emérito da COPPE/UFRJ, Jacques de Medina. Através da rotina AEMC (análise elásticas de múltiplas camadas), que utiliza como referência a teoria da elasticidade, com a possibilidade de análise não linear simplificada, é possível fazer a análise em relação à vida útil de projeto, avaliando assim diferentes cenários relativos à estrutura do pavimento [14].

Ao iniciar o *software*, a tela inicial que se apresenta é a aba ESTRUTURA (Fig.3), que permite a entrada dos dados. São inseridas informações quanto ao tipo de material das camadas, espessura, coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade (MR). Alternativamente, os MRs dos materiais podem ser definidos por retroanálise, utilizando a ferramenta BackMeDiNa. Há também opções *default* de materiais para as camadas do pavimento, com valores de MR, coeficiente de Poisson, coeficientes de regressão relativos aos ensaios de deformação permanente para materiais granulares e solos, vida de fadiga e *flow number* para misturas asfálticas [14].

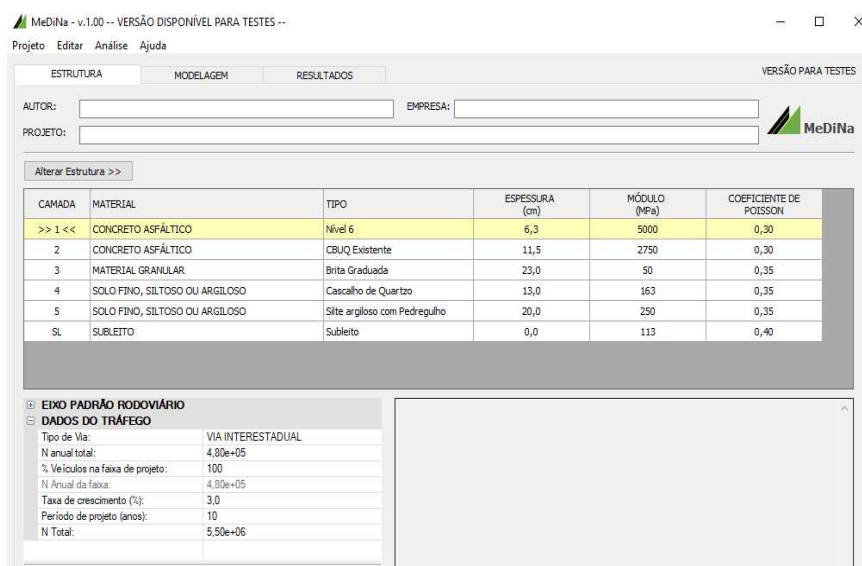


Fig.3. Tela de entrada do software MeDiNa (versão 1.00 para testes)

Para os dimensionamentos dos dois segmentos em avaliação, utilizando o MeDiNa, foi avaliada a utilização de uma camada de reforço em concreto asfáltico. Para a camada de reforço foram adotados os parâmetros *default* do

MeDiNa “Classe 4”, cujos valores de MR e coeficiente de Poisson são, respectivamente, 10.492MPa e 0,30. Esta é a mistura asfáltica mais resistente à fadiga apresentada no banco de dados do MeDiNa. A qualidade da mistura foi determinada por parâmetros de curva de fadiga e de módulo de resiliência, obtidos em laboratório [14]. Essa mistura serve para guiar o projetista em seu dimensionamento. Também durante a execução da camada de reforço, a curva de fadiga e os MRs servem como parâmetros de controle de qualidade da mistura asfáltica, devendo ser verificados por meio de ensaios. A vida útil de serviço adotada para o dimensionamento foi de 10 anos. A verificação da vida útil do reforço obtido pelo PRO-269/94 [2] foi realizada pelo método MeDiNa. Também foi adotada a mistura asfáltica “Classe 4”, visto que o PRO-269/94 [2] indica apenas da espessura de reforço, sem especificar a mistura asfáltica

3.5 Retroanálise

Para realizar as retroanálises foi utilizado o *software* BackMeDiNa, ferramenta de rotina do método MeDiNa. O cálculo para se achar os módulos de elasticidade (MR) são feitos de forma iterativa, utilizando o módulo AEMC para a análise elástica linear, a partir da variação dos valores máximos e mínimos de MR, determinados pelo projetista, em torno de um valor central, até que se obtenha uma bacia teórica próxima à bacia de deflexões de campo medida pelo FWD. Para isso, o programa compara a raiz do valor quadrático médio das diferenças entre as medidas de deflexões de campo e as calculadas [14]. Visando uma interface mais dinâmica, os dados deflectométricos são preparados em uma planilha padrão, de formato Excel para importação no BackMeDiNa (Fig.4).

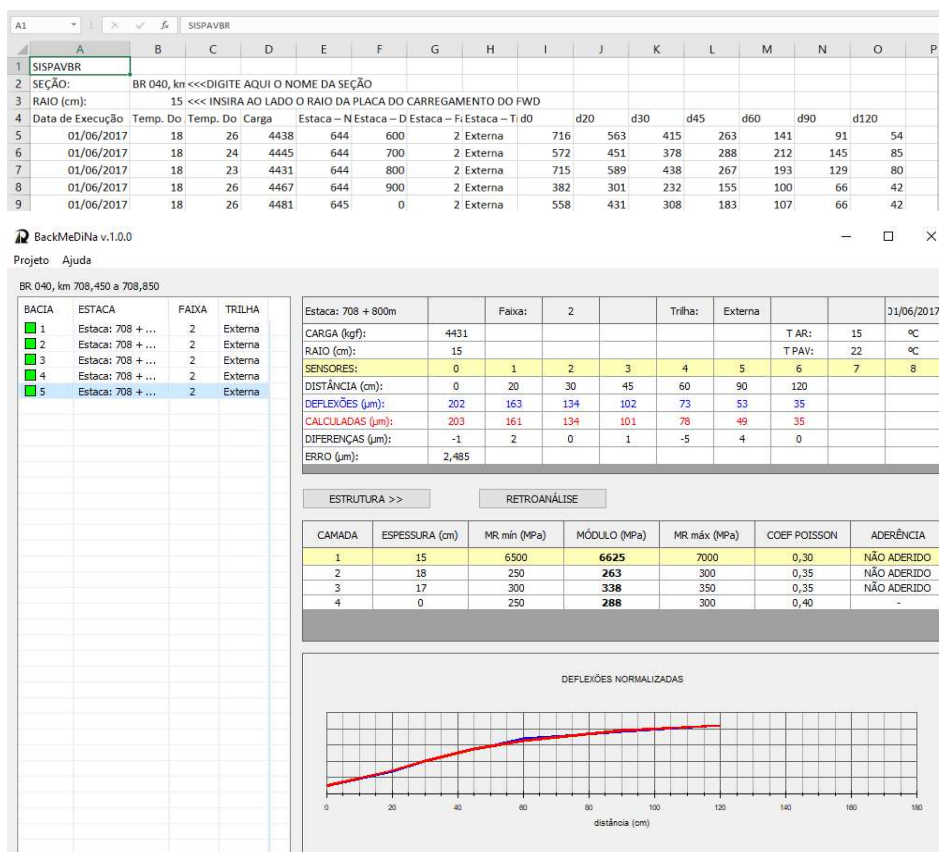


Fig.4. Modelo de planilha para entrada dos dados e tela da ferramenta de retroanálise BackMeDiNa

4 RESULTADOS

4.1 Levantamentos

O estudo de tráfego realizado a partir de contagens volumétricas classificatórias e pesagens indicou que o número “N” encontrado pelo método da USACE (*US Army Corps of Engineers*) para o décimo ano seria de $2,99 \times 10^7$. Na Fig.5 apresentam-se as espessuras das camadas encontradas nas janelas de inspeção, com as respectivas características dos materiais. No Quadro 1 apresentam-se as principais características dos TEs: (i) deflexões características (Dc) obtidas por FWD e Viga Benkelman; (ii) trincamentos obtidos pelos LVCI; (iii) afundamento em trilhas de roda (ATR); e (iv) índice de irregularidade longitudinal (IRI).

Quadro 1. Características dos TEs em estudo

TEs	Segmento		Dc (0,01mm)		Trincas Classe 2	Trincas Classe 3	Trincas Totais	ATR (mm)		IRI (m/km) Médio
	km inicial	km final	FWD	VB				Trilha Interna	Trilha Externa	
1	644,57	644,97	71,2	117	34,20%	0,70%	34,90%	2	8	2
2	631,35	631,75	148,8	237	40,70%	1,70%	42,40%	2,4	5	3,5

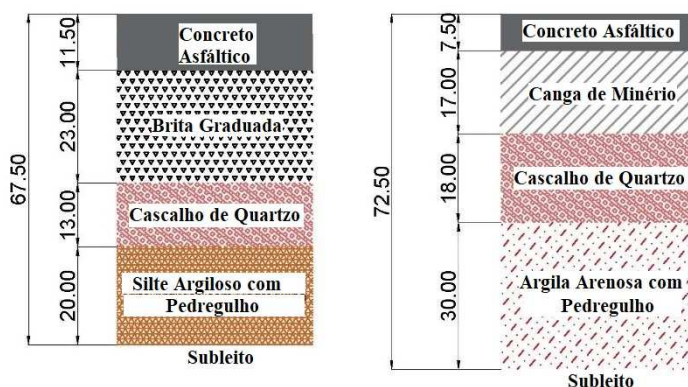


Fig.5. Estrutura dos pavimentos encontrada nos poços de inspeção dos trechos TE₁ e TE₂

4.2 Retroanálise

Na Fig.6 apresentam-se as bacias de deflexão medidas pelo FWD e as obtidas pelas retroanálises de cada TE. Os módulos de elasticidade das camadas determinados pelas retroanálises são apresentados nos Quadros 2 e 3.

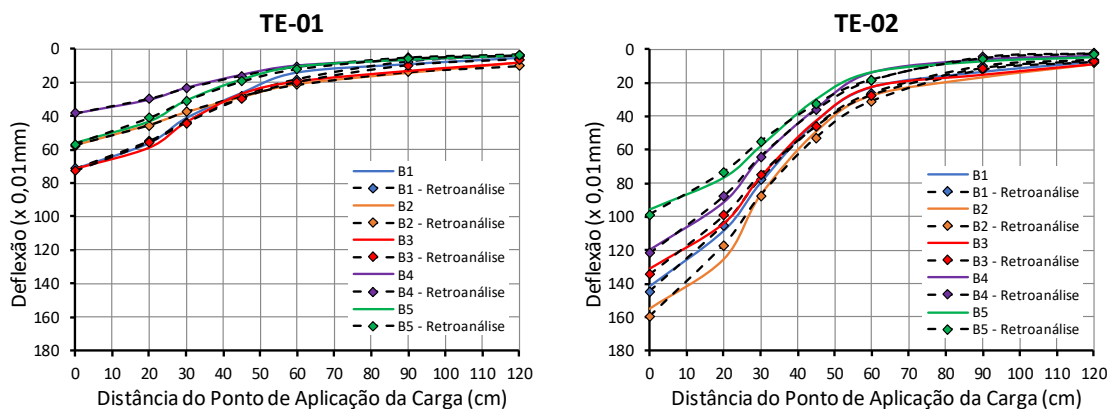


Fig.6. Comparação entre as bacias de deflexão medida e retroanalizada dos trechos TE₁ e TE₂

Quadro 2. Módulos de elasticidade do TE₁

Trecho Experimental 01 - km 644+570 ao km 644+970 - Sul						
Bacia de Deflexão	Posição (km)	MR Retroanalisados (MPa)				
		Concreto Asfáltico	Brita Graduada	Cascalho de Quartzo	Silte Arg. Pedreg.	Subleito
B1	644,600	3483	51	165	365	213
B2	644,700	4813	168	101	190	127
B3	644,800	3077	72	230	508	153
B4	644,900	6258	140	325	627	299
B5	645,000	3083	95	363	614	263
MR Médio		4143	105	237	461	211

Quadro 3. Módulos de elasticidade do TE₂

Trecho Experimental 02 - km 631+350 ao km 631+750 - Sul						
Bacia de Deflexão	Posição (km)	MR Retroanalisados (MPa)				
		Concreto Asfáltico	Canga de Minério	Cascalho de Quartzo	Arg. Aren. Pedreg.	Subleito
B1	631,400	1521	23	52	251	120
B2	631,500	1496	21	44	281	104
B3	631,600	1858	23	81	263	117
B4	631,700	1975	22	69	243	265
B5	631,800	2813	21	100	260	264
MR Médio		1933	22	69	260	174

4.3 Dimensionamento e Verificação da Vida Útil

O método de reforço PRO-269/94 [2] apoia-se, basicamente, na comparação entre as deformações solicitantes e as admissíveis pela estrutura do pavimento, de forma a não ocorrer a ruptura dos materiais constituintes. As análises indicaram espessuras de reforço de 10 cm e 15 cm, respectivamente, para o TE₁ e TE₂ (Quadro 4).

Quadro 4. Resultados do dimensionamento pelo método PRO-269/94 (TECNAPAV)

TE	km		Dc Viga Benkelman (0,01 mm)	Concreto Asfáltico (cm)	Camada Granular (cm)	Tipo Subleito	Constante		N USACE 10 anos	Dadm (0,01 mm)	hef (cm)	HR (cm)
	Inicial	Final					I1	I2				
1	644,570	644,970	117	11,5	56	III	0	1	2,99E+07	55	5,3	10
2	631,350	631,750	237	7,5	65	III	0	1	2,99E+07	55	1,8	15

Onde: Dc (Deflexão Característica); Dadm (Deflexão admissível); hef (espessura efetiva equivalente ao revestimento existente); HR (espessura de reforço)

Foram avaliadas as vidas úteis dos reforços obtidos pelo método PRO-269/94 [2] utilizando o MeDiNa. Verificou-se que em nenhum dos dois TEs o critério de fadiga foi atendido ao final dos 10 anos propostos como vida útil. O TE₁ chegou ao final dos 120 meses com 99% de sua área trincada, apresentando vida útil de apenas 49 meses e o TE₂ com 98,4%, apresentando vida útil de 52 meses.

O método MeDiNa, no modo de projeto de reforço, avalia apenas o consumo de fadiga da nova camada asfáltica, tendo como critério de falência dos pavimentos um percentual de área trincada de 30%, para um sistema arterial principal, onde é exigido uma confiabilidade dos resultados de 95%, sendo a espessura máxima admitida no método de 15cm para uma camada asfáltica.

As análises de dimensionamento da camada de reforço elaboradas utilizando o método MeDiNa indicaram que a espessura limite foi atingida, sem que o critério de fadiga da camada fosse atendido para a vida útil de 10 anos. O que se espera de um pavimento flexível em relação às suas camadas estruturais é que, o revestimento seja a camada com maior rigidez por ser a camada da estrutura responsável por absorver as maiores tensões atuantes no pavimento e distribuir em seguida para a camada de base que pode apresentar uma rigidez menor que a camada

de revestimento, porém, maior que a camada inferior e assim sucessivamente com as camadas de sub-base e o terreno de fundação que é o subleito. No entanto, verifica-se diante dos valores de módulos de elasticidade obtidos através da retroanálise (Quadros 2 e 3), que os MRs das camadas inferiores (reforço do subleito e subleito) são maiores que os das camadas superiores (base e sub-base). No TE₁ o subleito apresenta MR maior que o da base. No TE₂ o MR do subleito é maior que os MRs da base e sub-base. Segundo Cardoso [15], módulos retroanalizados com baixos valores na camada de base podem ocorrer visto que, dependendo da configuração do carregamento e da estrutura, a camada de base pode estar submetida a esforços de tração, e os materiais que a compõem não trabalham a tração, o que promove a ocorrência de rupturas localizadas que diminuem os valores dos módulos.

Assim, os trechos experimentais TE₁ e TE₂ para atender a vida útil de projeto, necessitariam de uma obra de restauração profunda, considerando medidas de reconstrução ou reciclagem das camadas de base e sub-base. Este resultado é consistente com os MRs encontrados nas retroanálises das bacias de deflexão, principalmente das camadas de base, que apresentaram valores muito baixos para o TE₁ e TE₂, 105 MPa e 22 MPa, respectivamente, quando comparado a valores comumente encontrados para os materiais considerados.

Objetivando dimensionar uma estrutura que atendesse a vida útil de projeto para o trecho que apresentou maiores danos estruturais e funcionais (TE₂) foram analisadas as condições atuais de sua estrutura. Como os MRs encontrados na retroanálise das camadas de reforço do subleito e subleito apresentam valores dentro dos limites indicados na instrução de projetos de pavimentação do DER-SP [16], essas camadas foram mantidas, sendo dimensionadas apenas as camadas de sub-base, base e revestimento. Neste dimensionamento, os novos materiais considerados para reconstrução foram obtidos da base de dados do método MeDiNa:

- Concreto asfáltico modificado Classe 4 - MR de 10492 MPa e coeficiente de Poisson de 0,30;
- Camada antirreflexão de trincas, identificada como tratamento superficial duplo - MR de 1000 MPa e coeficiente de Poisson de 0,25;
- Base de brita graduada tratada com cimento (BGTC), denominada como Balbo (1993) - 80 kg/m³ de cimento portland, módulo com comportamento do tipo sigmoidal e coeficiente de Poisson de 0,25; e
- Sub-base de material granular, identificado como Brita Graduada - Gnaisse C4, MR de 311 MPa e coeficiente de Poisson de 0,35.

Na Fig.7 pode-se observar a tela do software MeDiNa com o dimensionamento realizado para o TE₂, onde foi encontrado para a camada de revestimento uma espessura de 14,4 cm, camada antirreflexão de trincas de 2 cm, base e sub-base de 15 cm. Ao final dos 10 anos de vida útil de projeto, a porcentagem de área trincada estimada foi de 28,9% e a deformação permanente de 3,9 mm.

MeDiNa - v.1.1.1.0 - nov/2018

Projeto Editar Análise Ajuda

VERSÃO DISPONÍVEL ATÉ 31/03/2019

RESPONSÁVEL: Souza Júnior EMPRESA: COPPE/UFRJ

PROJETO: TE02 MODO: Pavimento Novo (Nível A)

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	Classe 4	14,4	10492	0,30
2	ANTI-REFLEXÃO DE TRINCAS	Tratamento Superficial Duplo	2,0	1000	0,25
3	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)	Balbo, 1993 c: 80 kg/m ³	15,0	Sigmoidal	0,25
4	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C4	15,0	311	0,35
5	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Reforço Subleito T9	30,0	260	0,35
SL	SUBLEITO	Subleito Trecho 9	0,0	174	0,40

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.
 Nível de confiabilidade da análise: 95%
 Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 28,9%
 Afundamento de Trilha de Roda: 3,9mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Principal
VMD (1º ano):	17458
FV:	1,000
N anual (1º ano):	6,37e+06
% Veículos na faixa de projeto:	40
N Anual da faixa:	2,55e+06
Taxa de crescimento (%):	3,5
Período de projeto (anos):	10
N Total:	2,99e+07

Fig.7. Dimensionamento do TE₂ pelo método MeDiNa

Os dois trechos em estudo apresentaram altas porcentagens de área trincada. Pelas retroanálises das bacias de deflexão foi possível estimar a camada com maior contribuição para a incidência de danos por fadiga (trincamento). Identificou-se que a camada de base apresentou os menores MRs, sendo inferiores que aqueles observados na literatura e também menores que os MRs do subleito. Tal característica é típica de bases descompactadas ou afetadas estruturalmente. Com isso, ao se dimensionar o TE₂, com reconstrução das camadas que apresentavam problemas estruturais (base e sub-base), foi possível atender os critérios de fadiga e deformação permanente para a vida útil de projeto.

5 CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou as características de dois trechos experimentais (TEs) com estruturas de pavimento flexível com condições funcional e estrutural deficientes, sendo elaboradas análises de dimensionamento por dois métodos mecanísticos-empíricos desenvolvidos no Brasil. O método MeDiNa em fase de normalização no Brasil, que teve sua primeira versão apresentada no ano de 2007 [13], leva em consideração as particularidades do meio físico, ações do tráfego, materiais com diferentes tipos de comportamento (elástico linear e não linear), modelos de previsão de danos, bacias de deflexão e análise de confiabilidade. O dimensionamento foi realizado pelo software MeDiNa, contando com a ferramenta BackMeDiNa para obtenção dos módulos das camadas do pavimento por retroanálises das bacias de deflexão. O método PRO-269/94 [2] refere-se à um procedimento de projeto de reforço, que foi apresentado pela primeira vez em 1982 [17] e normalizado no ano de 1994. A verificação da vida útil do reforço obtido pelo PRO-269/94 [2] foi realizada pelo método MeDiNa.

As análises pelo método PRO-269/94 [2] indicaram que os trechos TE₁ e TE₂ poderiam atender à vida útil de projeto de 10 anos com apenas o reforço da camada de revestimento com nova camada asfáltica. Foi utilizado o MeDiNa para prever a vida útil da solução encontrada pelo DNER-PRO 269/94 [2]. Verificou-se que as soluções de reforço não atenderam a vida útil de projeto. O fator preponderante na ruptura do pavimento foi a ação acumulada do dano causado pela sollicitação repetida dos eixos de carga, provocando fadiga no novo revestimento, resultando no trincamento excessivo em prazos menores do que o previsto, ocorrendo rupturas precoces do pavimento. A vida útil do projeto de reforço (PRO-269/94) indicou que os trechos apresentariam 30% da área trincada em 4 anos.

Os resultados das análises de dimensionamento pelo MeDiNa indicaram que a camada de reforço atingiria a espessura limite máxima de uma nova camada de revestimento, estipulado pelo método (15 cm), em tempo inferior ao previsto para a vida útil de projeto. Isso pode ser resultante das deformações de tração estarem muito altas nas fibras inferiores desta camada de revestimento, devido aos baixos módulos de elasticidade encontrados na camada de base. Portanto, a estrutura apresenta incompatibilidade de rigidez entre as camadas, o que faz com que uma camada de reforço não consiga restabelecer a condição estrutural do pavimento.

A retroanálise permitiu estimar qual a camada mais penalizada pelas cargas repetidas, e assim, qual contribuiu mais para a incidência de danos por fadiga. Nas análises observou-se que as camadas de base e sub-base dos TEs, principalmente do TE₂, são muito deformáveis (baixa rigidez), fazendo com que um reforço estrutural através de nova camada de revestimento se mostrasse ineficiente sem o tratamento das camadas de base e sub-base. Ao se dimensionar uma nova estrutura no TE₂, com a substituição dos materiais das camadas com baixos MRs (base e sub-base), obteve-se uma estrutura que atenderia os critérios de fadiga e deformação permanente durante a vida útil de projeto. As características elásticas das camadas, que compõem a estrutura do pavimento, auxilia na avaliação estrutural e revela a condição que os materiais se encontram *in situ*. A análise da bacia de deflexão permite que seja elaborado um diagnóstico mais consistente da condição estrutural do pavimento, que influenciará nas tomadas de decisão de projeto, seja de reforço ou restauração.

6 AGRADECIMENTOS

Ao Professor Jacques de Medina, que foi um exemplo de dedicação, ética e criatividade, acessível a todos, sensível aos problemas do Brasil e ligado nas tendências de inovação das áreas a que se dedicou: pavimentação e estabilização de solos. Ao Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (IPR/DNIT) pela parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) para a normalização do Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). À Concessionária BR-040 S.A. (Via040) pelos dados fornecidos, viabilizados através do Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT)

disponibilizado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). O PEC tem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

7 REFERÊNCIAS

1. Pesquisa CNT de rodovias: *Relatório Gerencial*. – Brasília : CNT : SEST SENAT. 406 p.: il. color. ; mapas, gráficos, 2017.
2. DNER-PRO 269/94. *Procedimento - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – TECNAPAV* (Método da Resiliência). MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1994.
3. L. V. Souza, R. C. Silva, J. G. Souza Júnior, K. K. L. Vianna. Mapa de Localização do Trecho concedido da BR-040 à Via040. *Relatório de Pesquisa de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico RDT, ANTT/Via040*, Brasília/DF, 2015.
4. R. C. Silva, L. M. G. Motta, K. K. L. Vianna, J. G. Souza Júnior, D. P. Costa. Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) Pelo Método da Varredura – Comparação com outros métodos. *Revista Estradas*, nº 23, Ano 17 – Novembro 2018, pp. 64-70, Porto Alegre, RS, 2018.
5. DNER-PRO 024/94. *Pavimento – determinação das deflexões pela viga Benkelman*, Rio de Janeiro, 1994.
6. W. J. Turnbull, C. R. Foster, R. G. Ahlvin. *Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volume*. 1962.
7. M. L. Souza. *Método de projeto de pavimentos flexíveis*. 3ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, IPR., 1981.
8. DNIT 005/2003-TER. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT*, Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias IPR, 2003.
9. DNIT 006/2003-PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT*, Rio de Janeiro, 2003.
10. DNIT 007/2003-PRO. Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos de projetos: procedimento. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT*, Rio de Janeiro, 2003.
11. DNIT 008/2003-PRO. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT*, Rio de Janeiro, 2003.
12. ENGEOTECH. Gerência de Pavimentos na Região Sul e Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais. *Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais, DERMG*. 2003/2004.
13. F. A. C. P. Franco. *Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav*. Tese (Doutorado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
14. J. G. Souza Júnior. *Aplicação do Novo Método de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos a Trechos de Uma Rodovia Federal*. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ PEC, Rio de Janeiro, 2018.
15. S. H. Cardoso. Faixas de Módulos Dinâmicos (elásticos) Obtidos por Retroanálise Durante Sete Anos. 29ª *Reunião Anual de Pavimentação*. V. 2, pp.377-401, Cuiabá, MT, 1995.
16. DER/SP. *IP-DE-P00/001: Projeto de Pavimentação*. São Paulo, 2006.
17. E. S. Preussler, S. Pinto. Proposição de método para projeto de reforço de pavimentos flexíveis, considerando a resiliência. 17ª *Reunião Anual de Pavimentação*, Brasília, 1982.