

## ANÁLISE DE PROJETO DE REFORÇO UTILIZANDO O MÉTODO M-E DE DIMENSIONAMENTO NACIONAL - MEDINA

**Filipe Augusto Cinque de Proença Franco**

**Mariluce de Oliveira Ubaldo**

**Marcos Antonio Fritzen**

**Caroline Dias Amancio de Lima**

**Laura Maria Goretti da Motta**

Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ

### RESUMO

O pavimento, como qualquer estrutura da engenharia, precisa de projetos de reforço quando este já não atende os objetivos para os quais foi construído. O novo método mecanístico-empírico de dimensionamento nacional de pavimentos asfálticos (MeDiNa) contém uma ferramenta própria para este tipo de análise, ainda pouco utilizada. Este trabalho tem como objetivo mostrar exemplos de projetos de reforço utilizando o MeDiNa. Foram analisados quatro segmentos de uma rodovia federal onde foram coletados os materiais das camadas do pavimento, incluindo extração de corpos de prova da camada de rolamento, para realização de ensaios laboratoriais como o módulo de resiliência. Levantamento visual de defeitos e deflectometria com Falling Weight Deflectometer (FWD) também foram realizados. Além de mostrar os resultados dos reforços, espera-se que o presente trabalho facilite a utilização desta análise no MeDiNa.

### ABSTRACT

Pavement, like any engineering structure, needs reinforcement projects when it no longer meets the objectives for which it was built. The new national mechanistic-empirical method of design of asphalt pavements (MeDiNa) contains its own tool for this type of analysis, which is still little used. This study aims to show examples of reinforcement projects using MeDiNa. Four segments of a federal highway where pavement layer materials were collected, including the extraction of test specimens from the bearing layer, were used to perform laboratory tests such as the resilience module. Visual defect survey and deflectometry with Falling Weight Deflectometer (FWD) were also performed. In addition to showing the results of reinforcements, it is expected that the present study will facilitate the use of this analysis in MeDiNa.

## 1. INTRODUÇÃO

Para se realizar um bom projeto de reforço de pavimento, estrutura de múltiplas camadas, é importante o conhecimento dos materiais constituintes destas camadas a fim de melhor analisar o pavimento como um todo e diagnosticar qual delas contribui mais para as deflexões. Assim, será possível encontrar a melhor solução de restauração, seja somente na camada de revestimento quanto nas subjacentes.

A prática atual de projeto de reforço das rodovias federais está associada à utilização mais corrente de dois métodos: o PRO 11/79 e o PRO 269/94, ambos baseados na análise do valor da deflexão característica atual do segmento como elemento principal de decisão de espessura de reforço. O método PRO 11 teve origem em um procedimento argentino, apresentado por Ruiz (1964), que associou a taxa de diminuição da deflexão máxima, medida com a viga Benkelman (VB), a uma relação logarítmica com a espessura de reforço. É um método simples, que utiliza duas equações: uma de deflexão admissível e outra de cálculo do reforço. O procedimento PRO 269/94 teve sua origem na tese de Preussler (1983), considerando medidas de deflexão com VB, utiliza uma expressão de deflexão admissível e equações de cálculo da espessura de reforço levando em conta algumas características do subleito e de espessura da camada granular, que foram geradas por uma análise fatorial (de poucos parâmetros e combinações) em função de trechos de pavimentos e ensaios de módulo de resiliência das camadas e fadiga de misturas asfálticas. São bastante conhecidos, portanto não serão aqui

detalhados. Mais detalhes do histórico destes métodos e de outros dois também existentes no DNIT podem ser vistos, por exemplo em Medina e Motta (2005, 2015).

Um Termo de Execução Descentralizada (TED) foi celebrado entre o Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, para estabelecer um novo método mecanístico-empírico de dimensionamento, que recebeu, em 2018, o nome de Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). Este programa é composto de três rotinas: uma de cálculo de tensões-deformações (AEMC), uma de retroanálise (BackMeDiNa), e uma de dimensionamento propriamente dita.

Com o estabelecimento do novo método de dimensionamento de pavimentos do DNIT, MeDiNa, foi decidido que deveria estar na mesma plataforma de cálculo o projeto de pavimentos novos e o projeto de reforço. Para o projeto de reforço, o uso de medidas de deflexão com equipamento FWD, mais eficiente do que a VB, que permite avaliar a bacia de deflexão completa, abriu a possibilidade de um diagnóstico melhor da condição estrutural do pavimento existente, e, portanto, de um projeto de reforço mais adequado. A retroanálise da bacia deflectométrica é a técnica empregada para inferir a contribuição de cada camada e do subleito na perda de capacidade de carga e no consequente trincamento do revestimento (Macêdo, 1996). Caracteriza-se pela determinação analítica dos módulos elásticos de todas as camadas do pavimento e do subleito a partir das bacias deflectométrica. É a forma mais utilizada atualmente em vários países para o projeto de reforço (Medina e Motta, 2015).

Assim, foi criada uma rotina de retroanálise, denominada BackMeDiNa, que permite analisar todas as bacias levantadas em um segmento homogêneo de uma rodovia e, a partir desta análise fazer o diagnóstico estrutural e o projeto de reforço quando pertinente. A consideração das características elásticas dos materiais da estrutura auxilia na avaliação estrutural, visto que pavimentos com estruturas diferentes, podem apresentar o mesmo valor de deflexão máxima (parâmetro usado nos métodos atuais de projeto de reforço), mas com diferentes arqueamentos da bacia deflectométrica. A curvatura da bacia se reflete em módulos elásticos distintos dependendo da condição em que estes materiais se encontram. Portanto, analisar a bacia completa permite um diagnóstico mais preciso da condição estrutural do pavimento e a melhor decisão da solução de restauração em cada situação.

Comparações entre o projeto de reforço calculado pelos métodos tradicionais e com uso do SisPav foi feita, por exemplo, por Fonseca (2013) e com uso do MeDiNa, por exemplo, por Souza Júnior (2018). Ambos concluem que os métodos M-E são mais adequados para análise e projeto de restauração de pavimentos e que, na maioria das vezes, os métodos atuais propõem espessuras de reforço que não atingem a vida útil de projeto.

Neste trabalho aborda-se o processo de análise de projeto de reforço de camadas de pavimento asfálticos no MeDiNa, mostrando como exemplo, a aplicação a quatro segmentos de uma rodovia federal de médio a alto volume de tráfego, que foram escolhidos em função da situação atual de defeitos em que se encontravam os pavimentos durante o levantamento anual da rodovia.

## 2. O PROJETO DE REFORÇO NO MEDINA

Franco e Motta (2018) apresentam o MeDiNa como:

“O MeDiNa é um programa de computador que realiza a verificação e o dimensionamento de estruturas de pavimentos mecanístico-empírico, por meio da rotina AEMC de análise de camadas elásticas de múltiplas camadas. O programa é fruto do Termo de Execução Descentralizada celebrado de 2015 a 2018 entre o Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, da UFRJ com a colaboração do Centro de Pesquisas da Petrobras - CENPES e de diversas Universidades do Brasil. Desenvolvido em Visual C++, que permite uma agilidade no processamento dos cálculos matemáticos, o programa MeDiNa reúne em poucas telas a entrada de dados, com campos facilmente editáveis, e a apresentação dos resultados em relatórios”.

O projeto de reforço deve ser feito acessando a aba “*Reforço*” e pode ser de duas formas: a partir de dados inseridos pelo próprio projetista, na opção *Dados Novos*; ou a partir da importação de um arquivo de bacia deflectométrica do BackMeDiNa, pela opção *Importar Retroanálise*. Para cálculo do reforço é necessária a entrada dos valores de módulos retroanalisados de bacias de campo obtidas com FWD, obtidos na rotina BackMeDiNa; sendo que o programa MeDiNa lê o arquivo do BackMeDiNa, de extensão \*.bac.

O segmento de rodovia a ser analisado precisa ser homogêneo, com a mesma quantidade de camadas, o mesmo tipo de condição de aderência entre camadas, e a menor variação possível de módulos, deflexões e espessuras. O MeDiNa calcula a média, o desvio padrão, os valores mínimos e máximos dos módulos retroanalisados das bacias fornecidas, e o valor da deflexão característica, que aparecem na janela Propriedades dos Materiais. O projetista deve concluir o preenchimento dos dados da camada asfáltica existente, com o percentual de área trincada, irregularidade IRI, e idade do pavimento, para permitir o programa rodar as análises ou o dimensionamento. Com base nestes valores, o programa emite avisos para que o projetista tome decisões para o projeto final.

Na camada asfáltica superficial existente, o projetista pode informar qual espessura deseja fresar e o programa calcula automaticamente a espessura remanescente para o projeto de reforço. As espessuras se ajustam automaticamente quando o projetista digita os valores de Espessura de Fresagem, Espessura de Campo e Espessura da camada final. E espessura da camada final será sempre igual à espessura de campo menos a espessura de fresagem.

As camadas existentes podem ter espessuras maiores do que 15 cm, uma vez que já estão construídas. Para a camada asfáltica existente, os limites variam de 0 (a camada pode ser fresada em toda a espessura) até 50cm. Já para as demais camadas existentes, a variação é de 5cm até 75cm. O MeDiNa não tem elementos nem modelos para avaliar a reflexão de trincas do pavimento antigo no novo. Caso o grau de trincamento atual seja muito elevado, cabe ao projetista elaborar estratégias e soluções para evitar ou adiar o processo de reflexão de trincas, independente do resultado do programa.

No modo Reforço apenas uma camada asfáltica nova pode ser dimensionada. O programa altera a espessura da camada até atender o critério da fadiga: espessura para o máximo permitido de

Área Trincada. No Reforço a Área Trincada é o único critério considerado visto que a camada a ser acrescida à estrutura é de concreto asfáltico. Admite-se espessura máxima de 15 cm, e caso não satisfaça, o projetista deve rever os dados e a estrutura, verificando se não é necessário adotar outra estratégia de restauração, por exemplo, fresagem, etc. No programa tem uma seção de alertas que pode ajudar o projetista a rever a situação daquele segmento.

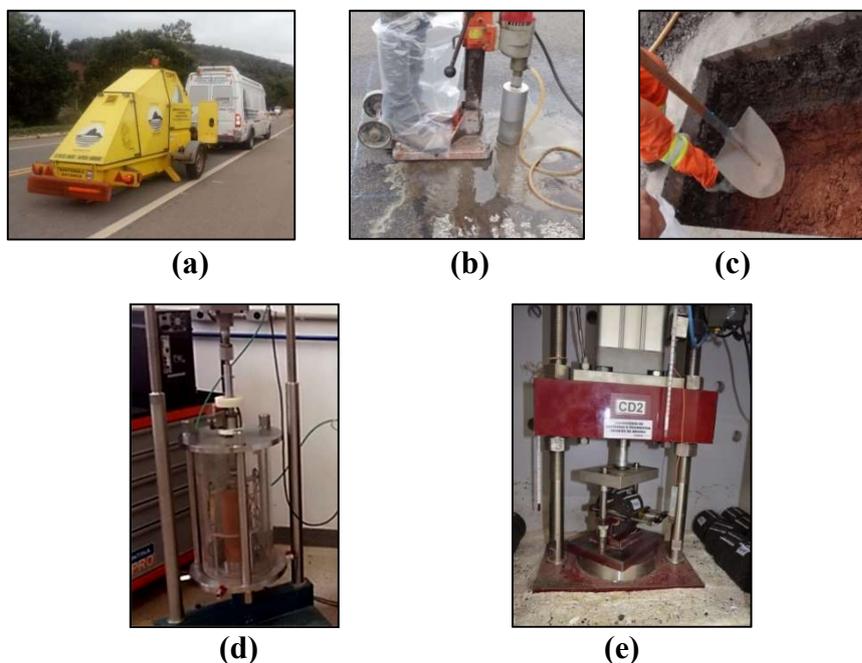
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Quatro segmentos de uma rodovia federal, de médio a alto volume de tráfego, foram selecionados para serem analisados, como exemplo de uso do MeDiNa na função “reforço”. A seleção levou em conta a situação de defeitos existentes visando encontrar a solução de reforço. As análises de projeto de reforço no programa MeDiNa são mostradas a seguir. Foram três etapas principais visando embasar o projeto do reforço, na seguinte ordem: campo, laboratório e cálculo. Detalhes sobre estas etapas estão na Tabela 1. Na Figura 1 estão representados alguns dos procedimentos executados em campo e os equipamentos utilizados nos ensaios dos materiais coletados em poços de sondagem realizados nos quatro segmentos.

**Tabela 1:** Etapas seguidas na realização deste trabalho

Etapa de campo	Etapa de laboratório	Etapa de cálculo
Levantamento de defeitos	MR	Retroanálise BackMeDiNa
Levantamento deflectométrico	Compressão diametral	
Extração de corpo de prova	Compactação	Análise estrutural MeDiNa
Poços de sondagem	MR Triaxial	
Coleta de materiais nos poços		

Nota: MR = Módulo de resiliência.



**Figura 1:** Procedimentos realizados em campo: (a) levantamentos deflectométricos, (b) extração de corpos de prova do revestimento, (c) poços de sondagem, (d) MR dos materiais granulares, (e) MR do material asfáltico

### 3.1. Segmentos e materiais

Para a seleção dos segmentos foram avaliados os defeitos das superfícies detectando os trechos mais deteriorados, com porcentagens elevadas de trincas. Em seguida, foram realizados levantamentos deflectométricos com FWD, irregularidade com o perfilômetro a laser, extração de corpos de prova da camada de rolamento, e, abertura de poços de sondagem para conhecimento da estrutura e coleta dos materiais das camadas do pavimento.

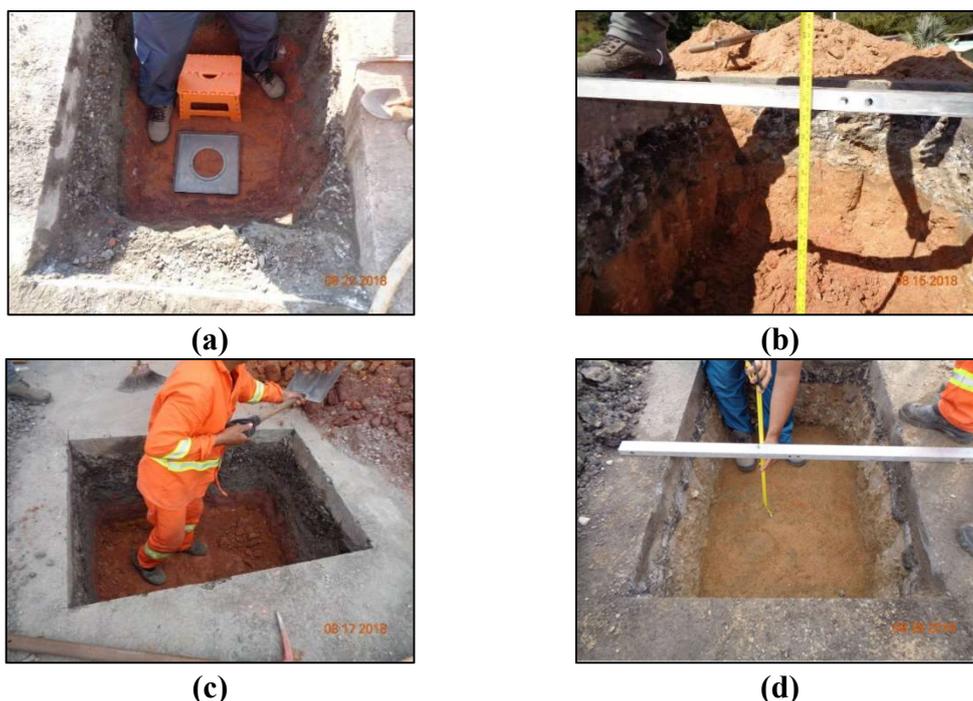
#### 3.1.1. Caracterização dos segmentos

Os resultados dos levantamentos de campo podem ser observados na Tabela 2, onde consta um resumo dos principais dados quanto à deflexão, irregularidade e área trincada. Pode-se perceber que são segmentos em situações estruturais distintas e com áreas trincadas consideráveis. Na Figura 2 estão fotos das aberturas dos poços de sondagem e na Figura 3 estão os perfis estruturais dos segmentos de acordo com o observado em campo.

**Tabela 2:** Dados do levantamento de campo: deflectometria, irregularidade e área trincada

Segmento	1	2	3	4
Deflexão máxima média ( $\mu\text{m}$ )	601	482	462	209
IRI (m/km)	3,5	3,0	4,5	4,0
% de área trincada	20	20	25	15

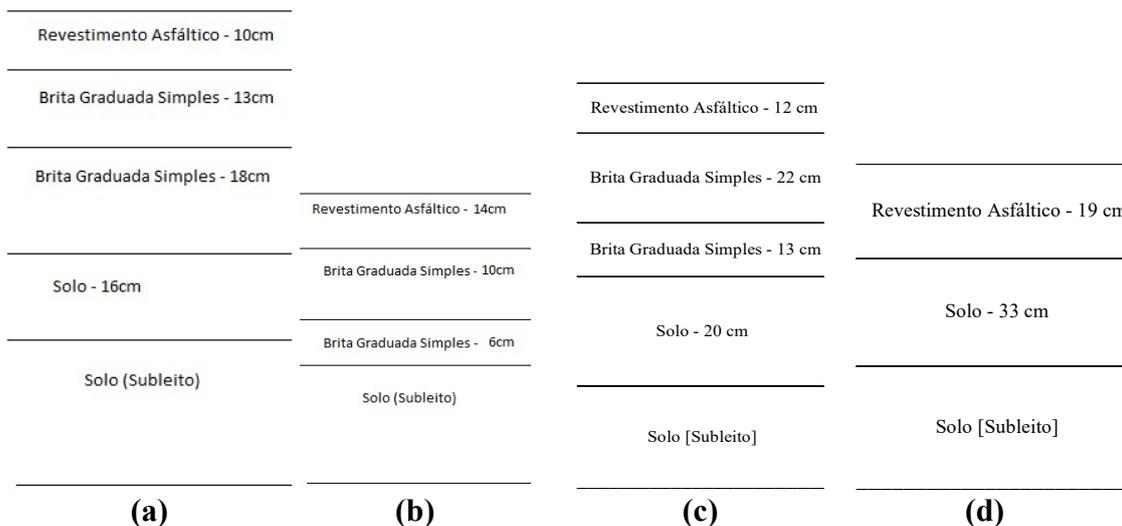
Nota: IRI = Índice de irregularidade longitudinal.



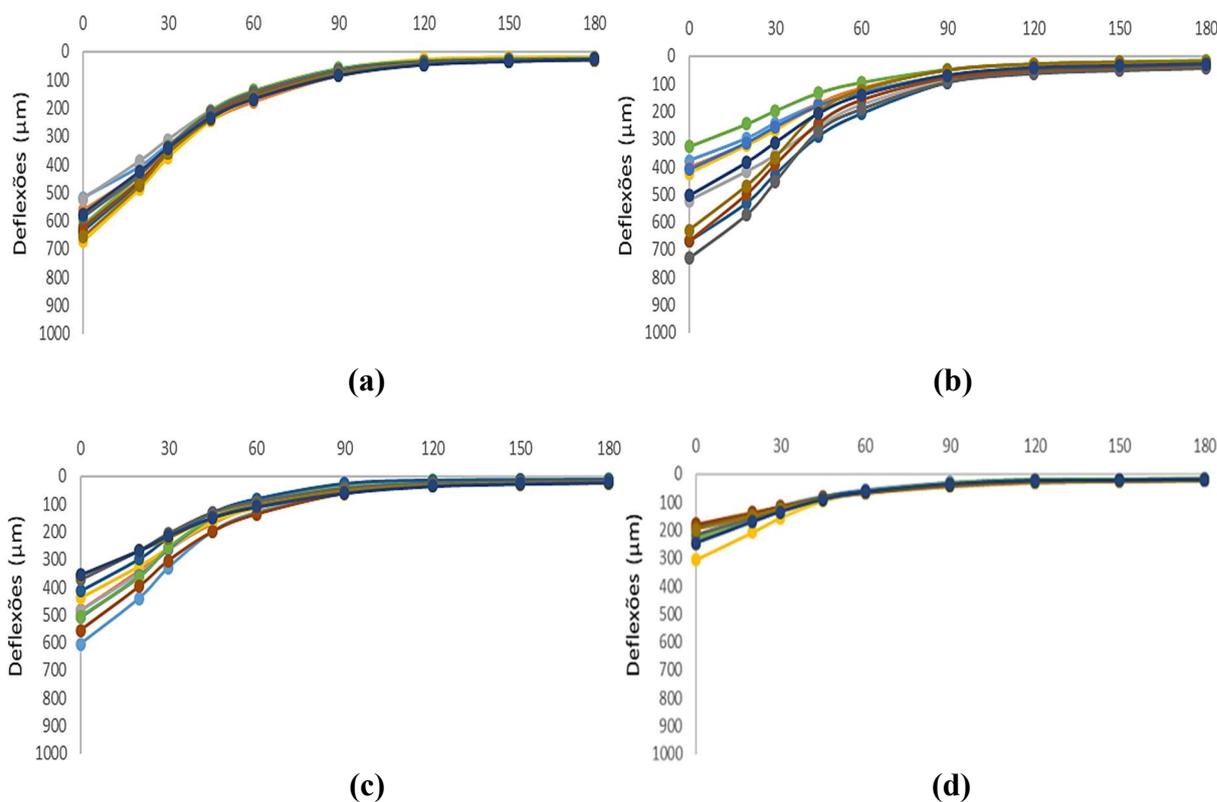
**Figura 2:** Fotos das aberturas dos poços de sondagem na rodovia analisada. (a) segmento 1, (b) segmento 2, (c) segmento 3 e (d) segmento 4

Para cada segmento avaliado foram medidas onze bacias deflectométricas, sendo uma bacia medida no ponto exato da abertura do poço de sondagem, cinco bacias medidas antes e cinco bacias medidas depois do local de abertura do poço de sondagem. A distância entre cada bacia deflectométrica foi de aproximadamente 20,0 m, ou seja, foram medidas bacias em trechos de

240,0 m por segmento analisado. A Figura 4 mostra os gráficos das bacias de cada segmento analisado neste estudo: deflexões no eixo y e pontos de leitura do FWD no eixo x.



**Figura 3:** Perfil estrutural dos segmentos avaliados neste estudo: (a) segmento 1, (b) segmento 2, (c) segmento 3, e (d) segmento 4



**Figura 4:** Bacia deflectométrica dos segmentos avaliados neste estudo: (a) segmento 1, (b) segmento 2, (c) segmento 3 e (d) segmento 4

Observa-se que o segmento 4 é o que apresenta menor deflexão máxima e o segmento 1 foi o de maior deflexão, e os dois com bacias bem parecidas, o que mostra que são trechos bem homogêneos. Já os segmentos 2 e 3 apresentam deflexões máximas médias parecidas e ambos

com bacias menos homogêneas. No segmento 2, por exemplo, há deflexões máximas variando de 350 a 750  $\mu\text{m}$ . Os desvios padrões por segmento variam.

### 3.1.2. Caracterização dos materiais dos segmentos

No total dos quatro segmentos, foram analisadas 13 camadas + subleitos: 4 revestimentos asfálticos do tipo concreto asfáltico e 13 materiais não cimentados, sendo 6 britas graduadas simples (BGS) e 7 solos.

A etapa laboratorial consistiu na realização de ensaios de módulo de resiliência (MR) (DNIT 134/2017 – ME) para os materiais granulares das camadas geotécnicas e MR por compressão diametral (DNIT 136/2018 – ME) das misturas asfálticas. Estes resultados foram utilizados para análise estrutural considerando o MR não-linear no programa MeDiNa, permitindo, assim, a comparação com os resultados dos valores retroanalisados (MR linear) pelo BackMeDiNa.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros de regressão dos modelos de previsão de MR dos materiais granulares das camadas de base, sub-base e subleito dos quatro segmentos analisados neste trabalho. Já na Tabela 4 estão apresentados os resultados dos ensaios nas misturas asfálticas dos revestimentos. As amostras de revestimento foram divididas em corpos de prova (CP) com dimensões para realização dos ensaios normatizados, e em cada CP foram realizadas repetições do ensaio de MR para confirmação dos resultados.

Com relação aos MRs dos materiais granulares, os maiores valores de MR mostrados na tabela foram os das BGS. Já quanto aos MR dos CBUQ, os segmentos 1 e 2 foram os que apresentaram maiores valores médios comparados aos demais segmentos. Os altos valores mostram o alto grau de envelhecimento do concreto asfáltico, compatível com a idade do trecho.

**Tabela 3:** Parâmetros dos modelos de módulo de resiliência resultante dos ensaios laboratoriais realizados nos materiais granulares e solos dos quatro segmentos

Segmento	Camada	Material	MR = $k_1 \cdot \sigma_c^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3}$ (MPa)				MR (MPa)		
			$k_1$	$k_2$	$k_3$	$R^2$	Menor	Médio	Maior
1	Base	BGS	1504	0,50	-0,15	0,92	306	520	744
	Sub-base	BGS	897	0,51	-0,22	0,85	232	353	501
	Reforço	Solo	395	0,54	-0,45	-0,45	157	238	304
	Subleito	Solo	68	0,24	-0,72	0,90	81	192	430
2	Base	BGS	1145	0,46	-0,01	0,95	162	316	480
	Sub-base	BGS	1027	0,47	0,01	0,91	146	273	432
	Subleito	Solo	415	0,51	-0,38	0,78	136	233	316
3	Base	BGS	1597	0,48	-0,11	0,82	253	534	738
	Sub-base	BGS	766	0,44	-0,26	0,62	262	411	528
	Reforço	Solo	291	0,46	-0,49	0,74	158	226	376
	Subleito	Solo	127	0,28	-0,60	0,86	116	236	465
4	Base	Solo	1013	0,49	-0,07	0,85	170	296	468
	Subleito	Solo	206	0,71	-0,85	0,81	116	173	306

**Tabela 4:** Resultados dos ensaios laboratoriais de módulo de resiliência das camadas de revestimento dos quatro segmentos

Segmento	Camada	Material	Identificação do CP	Módulo de resiliência (MPa)		
				Menor	Médio	Maior
1	Revestimento	CA	1	13.160	19.392	26.760
			2	15.979	18.676	21.373
2	Revestimento	CA	1	15.733	19.668	22.315
			2	-	20.726	-
3	Revestimento	CA	1	10.730	12.356	15.281
			1	12.799	15.526	16.636
4	Revestimento	CA	2	18.467	19.505	25.880
			3	6.869	7.835	9.475
			3	6.869	7.835	9.475

*Nota:* O número da identificação do CP aumenta com a profundidade. No segmento 3 foi possível realizar ensaio em um único corpo de prova mais superficial.

### 3.2. Cálculo do projeto de reforço

#### 3.2.1 Projeto pelos métodos PRO 11 e PRO 269

Visando comparar os resultados obtidos utilizando os métodos tradicionais com os reforços calculados com o novo método, apresenta-se na Tabela 5 as espessuras encontradas quando se aplicaram as condições de análise dos métodos PRO 11 e PRO 269. Para aplicar estes dois procedimentos há uma dificuldade adicional que é o fato da deflexão ter sido obtida com o FWD. Sabe-se que não há uma relação única entre as deflexões medidas por diferentes equipamentos, podendo existir correlações particulares para cada tipo de estrutura. Mas, visando uma comparação relativa, foi usada a expressão de Pinto (1991):  $D_{VB} = 1,32 D_{FWD}$  para os valores médios de campo + desvio padrão (deflexão característica). O Número N projetado está apresentado no próximo item. Os subleitos foram considerados do Tipo I pelo valor de MR encontrados nos ensaios de laboratório, para aplicação do PRO 269 e por este procedimento nenhum dos quatro segmentos necessitam de reforço em concreto asfáltico.

**Tabela 5:** Resultados do projeto de reforço pelos procedimentos PRO 11 e PRO 269

Segmento	$D_{FWD}$ ( $10^{-2}$ mm) (média + DP)	$D_{VB}$ ( $10^{-2}$ mm)	$D_{adm}$ VB		Reforço PRO 11 (cm)	Reforço PRO 269 (cm)
			PRO 11	PRO 269		
1	70	92	50	64	4	<3
2	68	90	63	72	3	<3
3	56	71	50	64	3	<3
4	26	34	48	58	$D < D_{adm}$	$D < D_{adm}$

#### 3.2.2 Projeto utilizando o programa MeDiNa

A etapa de cálculo pelo MeDiNa foi feita em duas partes, a primeira é de retroanálise em que foram utilizados os dados de MR resultantes das análises das bacias deflectométricas obtidas com o equipamento FWD. Para a retroanálise foi utilizado o BackMeDiNa. A segunda consistiu nas análises utilizando os MRs resultantes dos ensaios realizados em laboratório. Os valores de MR retroanalizados (lineares) foram comparados com os valores de MR obtidos dos ensaios de laboratório feitos com os materiais retirados de campo. Vale salientar que os valores de MR dos materiais granulares tenderam a mesma ordem de grandeza nos dois casos, mas os MRs da

camada de revestimento asfáltico divergiram, porque os valores de módulos de corpos de prova de campo são influenciados pelo envelhecimento e a retroanálise pelo alto grau de trincamento.

#### 4. RESULTADOS DOS PROJETOS COM O NOVO MÉTODO

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da retroanálise para cada segmento homogêneo, no qual os valores de módulo são apresentados em duas colunas: uma corresponde a valores médios das 11 bacias deflectométricas, e a outra para o poço de sondagem, em que a retroanálise foi feita unicamente com a bacia deflectométrica medida no local onde foi aberto o poço. Nos segmentos 2 e 4, para o cálculo dos MR retroanalizados, foi necessário dividir a camada asfáltica em duas camadas. Esta decisão foi tomada por se tratar de duas camadas asfálticas construídas em períodos diferentes. Já como as camadas de base e sub-base no segmento 2 são de BGS e apresentaram nos ensaios de laboratório valores de MR muito parecidos, na retroanálise foi considerada uma camada de material único. O mesmo aconteceu para o segmento 3 em que foi considerado um único material de subleito devido aos materiais de reforço e subleito serem muito parecidos.

O projeto de reforço do pavimento foi feito com o programa MeDiNa. Para análise do reforço do pavimento foram utilizados os valores de MR retroanalizados de cada segmento. Na Tabela 7 estão apresentados alguns dos dados de entrada para o projeto de reforço no MeDiNa para cada segmento analisado, que são: os dados do tráfego atual, a taxa de crescimento e o período de projeto, em anos, previsto no estudo do reforço. Na Tabela 8 apresentam-se os dados das classes de concreto asfáltico que constam do programa e podem ser escolhidas para o projeto.

**Tabela 6:** Resultados das retroanálises dos segmentos selecionados para duas situações: análise do segmento homogêneo e análise no ponto de abertura do poço de sondagem

Segmento	Camada	Material	Módulo retroanalizado (MPa)		Coeficiente de Poisson
			Segmento homogêneo	Poço de sondagem	
1	Revestimento	CA	4417	3271	0,30
	Base	BGS	111	155	0,40
	Sub-base	BGS	774	360	0,40
	Reforço	Solo	52	60	0,45
	Subleito	Solo	207	211	0,45
2	Revestimento	CA	9362	10218	0,30
	Base	BGS	9802	15327	0,30
	Subleito	Solo	78	155	0,40
3	Subleito	Solo	184	247	0,45
	Revestimento	CA	12055	10519	0,30
	Base	BGS	176	94	0,40
	Sub-base	BGS	135	80	0,40
4	Subleito	Solo	305	417	0,45
	Revestimento	CA	14969	15000	0,30
	Base	Solo	3.352	3.188	0,30
	Subleito	Solo	490	418	0,40
			363	373	0,45

**Tabela 7:** Dados de entrada para análise de reforço do pavimento dos quatro segmentos no programa MeDiNa

Tipo de Via	Segmento	Dados do Tráfego			
		1	2	3	4
Sistema Arterial Primário	Volume Médio Diário - VMD (1º ano)	3288	1644	3420	5479
	N anual (1º ano)	$1,2 \times 10^6$	$6,00 \times 10^5$	$1,25 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$
	Taxa de crescimento (%)	3	3	3	3
85 % de nível de confiabilidade	Período de projeto (anos)	10	10	10	10
	N Total na pista direita	$1,38 \times 10^7$	$6,88 \times 10^6$	$1,43 \times 10^7$	$2,29 \times 10^7$

**Tabela 8:** Características das classes de concreto asfáltico adotadas no programa MeDiNa

Classe	MR (MPa)	Fadiga		FFM
		$k_1$	$k_2$	
1	5764	$5,496 \times 10^{-11}$	-3,253	0,84
2	6743	$1,11 \times 10^{-13}$	-3,979	0,86
3	8000	$1,0 \times 10^{-12}$	-3,750	0,90
4	10492	$1,91 \times 10^{-5}$	-1,900	1,00

O FFM descrito na Tabela 8 representa o fator de fadiga que expressa a área sobre a curva para o intervalo de deformação específica de tração considerado.

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados do projeto de reforço utilizando o programa MeDiNa. Os resultados representam uma solução de projeto que atende aos requisitos, mas outras soluções poderiam ser ainda testadas a critério do projetista. Em dois dos segmentos analisados (1 e 3), devido ao grau de trincamento existente no pavimento, nível de deflexões e alto volume de tráfego, para fazer um projeto de reforço que tivesse uma vida útil de 10 anos, foi preciso remover toda a camada de revestimento asfáltico existente, fazer a reconstrução da camada de base (que pelos módulos retroanalisados estão muito baixos para a estrutura do pavimento) e reconstruir a camada de revestimento asfáltico utilizando uma mistura asfáltica classe 4 existente no banco de dados do programa MeDiNa. Para o segmento 1 foi necessário propor fresagem para diminuir a espessura da camada de base para conseguir aumentar a camada de revestimento e não alterar o greide.

As classes de mistura asfálticas do programa MeDiNa estão relacionadas à fadiga, são 4, com a vida de fadiga aumentando com a numeração (1 a 4) e estão descritas, por exemplo, em Franco e Motta (2018) e Motta *et al.* (2018). As características destas classes indicadas na Tabela 8, resultaram da análise de banco de dados de ensaios de fadiga por compressão diametral.

Para os segmentos 2 e 4, foi possível prever um projeto de reforço sem reconstrução da camada de base e apenas com fresagem parcial do revestimento asfáltico. Para o segmento 2, que apresenta um volume de tráfego menor, foi possível também adotar uma classe de mistura asfáltica inferior às previstas nos demais segmentos.

**Tabela 9:** Resultados dos projetos de reforço dos segmentos desta pesquisa

Resultados do projeto de reforço pelo MeDiNa				
Segmento	1	2	3	4
Área trincada estimada no fim do período (%)	28,3	29,8	28,5	30,0
Espessura do revestimento fresado (cm)	10	5,0	12	5,5
Espessura da nova camada de revestimento no reforço (cm)	13	5,0	12	5,5
Tipo de mistura asfáltica no reforço	Classe 4	Classe 2	Classe 4	Classe 4
Reconstrução da camada de base	sim	não	sim	não
Módulo estimado da base reconstruída	500MPa	-	380MPa	-
Espessura da camada de base reconstruída (cm)	10	-	22	-

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma constatação ao se usar um método de base mais racional é que um método M-E dimensiona um pavimento com capacidade estrutural suficiente, sendo várias as soluções que podem satisfazer os critérios, e algumas podem não ser necessariamente o dimensionamento “ótimo”. A “inteligência” para definir o que é a melhor solução virá da experiência e do julgamento do projetista. O programa MeDiNa facilita as várias análises e gera as memórias de cálculo, mas não substitui o projetista: permite maior liberdade de projetar as estruturas, usar combinações menos rígidas de materiais, inovar nas concepções, etc, porém “cobra” do engenheiro o julgamento firme das adequações e economicidade do que projetou. O programa é uma ferramenta de cálculo do projetista, que decide o que fazer, considerando o conjunto de materiais para cada trecho homogêneo. A ferramenta faz o que for definido: aplica os critérios selecionados previamente no conjunto dos materiais, com suas características e espessuras.

Hoje o tráfego é muitíssimo diferente em termos de volume, tipos de veículos, tipos de pneus, velocidade, pesos, etc, em relação às décadas passadas quando os métodos de projeto de reforço atualmente ainda empregados foram estabelecidos. Evoluiu também a forma de avaliar os materiais e os pavimentos em uso. As medidas de deflexão não se restringem mais à deflexão máxima, e tem-se à disposição as bacias de deflexão que permitem um diagnóstico muito mais detalhado da condição estrutural do pavimento e em consequência um projeto de restauração mais adequado. As exigências de sustentabilidade encaminham mais para projetos com reaproveitamento de materiais e que tenham maior confiabilidade.

Colocar na mesma base teórica o dimensionamento de pavimentos novos e os projetos de reforço é imprescindível hoje e poder analisar os projetos com base nos conhecimentos da mecânica dos Pavimentos é essencial. O uso de método mecanístico-empírico permite aproveitar melhor os materiais disponíveis para a pavimentação, redução de custos para implantação ou restauração de pavimento durável, verificação de que as misturas asfálticas não são iguais e projeto de reforço com diagnóstico da condição estrutural das várias camadas ao se utilizar toda a bacia de deflexão e a retroanálise.

Fazer a retroanálise com o mesmo programa de cálculo de tensões e deformações que será depois utilizado no dimensionamento do reforço torna mais consistente as análises, por exemplo, ao considerar a grande influência da condição de aderência no valor dos módulos retroanalisados. As deficiências dos métodos de dimensionamento atuais do DNIT, em geral levam ao sub-dimensionamento da camada de reforço. É também importante poder considerar a caracterização da mistura asfáltica para o dimensionamento de pavimentos.

#### Agradecimentos

Ao DNIT pela oportunidade de participar deste momento histórico da elaboração de um novo método de dimensionamento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Adicionalmente, a quarta autora também agradece a bolsa de doutorado concedida pela CAPES.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNER (1979) *DNER PRO 11/79 Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis, Procedimento B*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Brasil.
- DNER (1994) *DNER PRO 269/94 Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis – TECNAPAV*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Brasil.
- DNIT (2018) *DNIT 134/2018-ME Pavimentação - Solos - Determinação do Módulo de Resiliência - Método de Ensaio*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasil.
- Fonseca, L. F. S. (2013) *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, Brasil.
- Franco, F.A.C.P. (2007) *Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SisPav*. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Franco, F. C. P. e Motta, L. M. G. (2018) *Guia para Utilização de Método Mecânico-Empírico. Apresentação dos Programas Desenvolvidos no TED 682/2014*. Manual de Utilização. COPPE/IPR. Rio de Janeiro, Brasil.
- Macêdo, J. A. G. (1996) *Interpretação de Ensaio Deflectométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis*. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Medina, J. e Motta, L. M. G. (2005) *Mecânica dos Pavimentos*. (2ª ed.) Edição dos Autores. Rio de Janeiro, Brasil.
- Medina, J. e Motta, L. M. G. (2015) *Mecânica dos Pavimentos*. (3ª ed.) Interciência. Rio de Janeiro, Brasil.
- Motta, L. M. G; Leite, L. M. F; Franco, F. A. C. P.; Silva, C. F. S. c e Medina, J. (2018) *Guia para Utilização de Método Mecânico-Empírico, Sugestões para Percepção Geral de um Roteiro de Dimensionamento de Pavimentos Novos e Reforço. Relatório 4. TED 682/2014*. COPPE/IPR. Rio de Janeiro, Brasil.
- Pinto, S. (1991) *Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos*. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Preussler, E. S. (1983) *Estudo da Deformação Resiliente de Pavimentos Flexíveis e Aplicação ao Projeto de Camadas de Reforço*. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- Ruiz, C. L. (1964) *Sobre el Calculo de Espesores de Refuerzo de Pavimentos. 5ª Reunión Anual de Pavimentación; Associação Brasileira de Pavimentação*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Souza Júnior, J. G. (2018) *Aplicação do Novo Método de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos a Trechos de Uma Rodovia Federal*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.

---

Filipe Augusto Cinque de Proença Franco (filipefacpf@gmail.com)

Mariluce de Oliveira Ubaldo (mariluce\_ubaldo@yahoo.com.br)

Marcos Antonio Fritzen (marcosantonio\_ufrj@yahoo.com.br)

Caroline Dias Amancio de Lima (engcarolinelima@gmail.com)

Laura Maria Goretti da Motta (laura@coc.ufrj.br)

Setor de Pavimentos - Lab. de Geotecnia - Av. Pedro Calmon, s/n, Cidade Universitária. Rio de Janeiro/RJ, Brasil.