

ELABORAÇÃO DE ARTIGOS

ESTUDO DE PROJETO DE REFORÇO UTILIZANDO O MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO NACIONAL - MEDINA

Marcos Antonio Fritzen¹, Mariluce de Oliveira Ubaldo², Caroline Dias Amancio de Lima², Laura Maria Goretti da Motta² e Filipe Augusto Cinque de Proença Franco²

¹ Universidade do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil/COPPE, Laboratório de Geotecnia e Pavimentos, Av. Pedro Calmon, 21941-596 Ilha do Fundão/Cidade Universitária, Rio de Janeiro-RJ, Brasil [email: marcosantonio_ufrj@yahoo.com.br](mailto:marcosantonio_ufrj@yahoo.com.br)

² Universidade do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil/COPPE, Laboratório de Geotecnia e Pavimentos, Av. Pedro Calmon, 21941-596 Ilha do Fundão/Cidade Universitária, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

Sumário

Dois segmentos de médio a alto volume de tráfego foram selecionados para aberturas de poços de sondagem e coletas dos materiais das camadas do pavimento, incluindo extração de corpos de prova da camada de rolamento com a sonda rotativa. Foram realizadas análises de campo e laboratorial: levantamento visual de defeitos, levantamento deflectométrico com o equipamento Falling Weight Deflectometer (FWD), módulos de resiliência, deformação permanente e resistência à tração. No estudo de projeto de reforço utilizou-se o Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) e comparou-se o custo do reforço versus vida útil do pavimento de alto e médio volume de tráfego.

Palavras-chave: Método de Dimensionamento Nacional Brasileiro – MeDiNa; projeto de reforço; poços de sondagem; acompanhamento sistemático trechos experimentais; ensaios mecânicos.

1 INTRODUÇÃO

Para realização de um projeto de pavimento é necessário conhecimento dos diversos fatores, que podem interferir na vida útil do pavimento, dentre eles o clima, tráfego e a capacidade de suporte dos materiais a serem empregados. Dependendo do comportamento estrutural do pavimento, clima e o tráfego, esta solução poderá ser de: restauração, reforço ou reconstrução. Um projeto de reforço de pavimento, que tem como função reestabelecer as características estruturais do pavimento, deve levar em consideração a estrutura existente por meio de levantamento do estado de degradação atual da via com avaliação funcional e estrutural.

O projeto de reforço de pavimentos flexíveis consiste basicamente na colocação de uma camada adicional de materiais betuminosos [1]. No Brasil, o dimensionamento do projeto de reforço deste tipo de pavimento vem sendo realizado como se fosse para construção de um pavimento novo, havendo quatro métodos homologados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT): [2]; [3]; [4] e [5].

[6] salientava a importância da retroanálise para projetos mais confiáveis. Adicionalmente, [7] concluiu que para um projeto de reforço é de suma importância a correta interpretação e tratamento das deflexões obtidas em campo, pois o critério mais condicionante pode ser a fadiga das misturas antigas que podem contribuir para o aparecimento de trincas e posterior propagação das mesmas para a superfície até a camada de reforço.

Como fundamentos do procedimento para realização de um projeto de reforço, temos: avaliação das condições de campo (funcional e estrutural), divisão dos trechos em segmentos homogêneos, caracterização e classificação do tipo de tráfego da via, e cálculo da espessura do reforço.

Para o pavimento atingir a vida útil de 10 anos a rotina de manutenção deve ser cumprida, pois a durabilidade dos pavimentos esta intimamente ligada à execução, operação e manutenção. No entanto, as rodovias brasileiras têm

apresentado necessidades constantes de reforço para atingir a vida útil de projeto o que interfere na sociedade como um todo. O fato pode estar ligado a diversos fatores, como: qualidade dos materiais, controle tecnológico da obra, qualidade da mistura asfáltica, dentre outros fatores que o método de dimensionamento empírico vigente no país não leva em consideração.

No ano de 2018 foi lançado o Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). O DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre) passou a disponibilizar o programa gratuitamente mediante um cadastro no site do departamento, porém o método ainda não está oficialmente vigente. O método MeDiNa está direcionado para pavimentos flexíveis e semi rígidos, considera curva de fadiga e a deformabilidade de todos os materiais do pavimento, exceto camadas cimentadas. Este método mecanístico-empírico inclui um programa com duas sub rotinas, a retroanálise (BackMeDiNa) das bacias de deflexão que dá subsídio para dimensionar reforços de pavimento e o programa de Análise de tensões, deformações e deslocamentos – AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas).

No contexto atual da conjuntura de dimensionamentos brasileiros e situações dos pavimentos flexíveis rodoviários, a implementação de tecnologias necessárias para atender o método irá exigir investimentos como: equipamentos de laboratório, treinamento de técnicos e a realização de novos ensaios que não contemplam o método de dimensionamento vigente atualmente. Espera-se contudo, que esses investimentos reflitam em uma melhor vida útil do pavimento e uma diminuição da necessidade de manutenção. Diante disso, uma análise de custos deve avaliar os gastos iniciais da obra e toda intervenção durante a sua vida útil do pavimento.

[7] comparou o dimensionamento de reforço de pavimentos asfálticos pelo método mecanístico-empírico e os métodos DNIT/DNER, e verificou que o dimensionamento da camada de reforço pelo método mecanístico-empírico resultou em espessuras significativamente maiores, mostrando a deficiência dos métodos empíricos que ao não considerar as características específicas da mistura asfáltica levam ao subdimensionamento da camada de reforço e conseqüentemente diminuição da vida útil.

O trabalho de [7] mostrou a importância que há ao analisar a estrutura pré-existente no dimensionamento da camada de reforço, mas vale destacar que nem sempre o dimensionamento empírico resultará em menores espessuras para esta nova camada, pois o método mecanístico-empírico permite avaliar a espessura de fresagem e a escolha de materiais, levando em consideração suas peculiaridades a fim de atingir a vida útil do pavimento com economia e segurança.

[8] estudou 13 trechos de uma rodovia federal comparando as soluções do Catálogo do DNIT e soluções por meio de análises com o MeDiNa após retroanálise, e verificou que em 78% dos casos analisados as soluções indicadas pelo Catálogo não atingiram a vida útil de projeto. Segundo o autor, é fundamental e necessário estudos das camadas do pavimento, a fim de considerar a análise da elasticidade não linear no dimensionamento.

Por ser um método novo no país, ainda pouco empregado há a necessidade de verificar sua efetividade utilizando todas as informações dos materiais das camadas na análise. Logo, o objetivo principal deste estudo é analisar projetos de reforço de pavimentos flexíveis utilizando o Método de Dimensionamento Nacional em dois segmentos experimentais brasileiros monitorados pela COPPE/UFRJ. Por consequência, os objetivos específicos são:

- (i) Análise mecânica dos materiais granulares aplicados nas camadas abaixo da camada de rolamento nos dois segmentos;
- (ii) Avaliações do desempenho de misturas asfálticas empregadas nos dois segmentos experimentais;
- (iii) Avaliação estrutural dos segmentos experimentais utilizando o software MeDiNa, analisado também pela subrotina de retroanálise – BackMeDiNa;
- (iv) Análise de custos comparativo entre os segmentos baseado no Método de Dimensionamento Nacional MeDiNa para os dois segmentos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

selecionados dois segmentos de uma via brasileira de alto e médio volume de tráfego, respectivamente, para serem analisados, ambos localizados no estado do Rio de Janeiro. Entre os dois poços de sondagem (janelas) há uma distância de aproximadamente 24 km. Os segmentos foram escolhidos em função da situação atual de defeitos em que se encontravam os pavimentos.

Com base nas atividades realizadas para análise destes segmentos, o presente estudo pode ser dividido em duas etapas: etapa de campo e etapa laboratorial. Ao fim das etapas experimentais foram realizadas as atividades de cálculo de dimensionamento, análise estrutural no software MeDiNa e de custos do reforço versus vida útil do pavimento.

2.1 Etapa de campo

Esta etapa compreendeu as idas a campo para coleta de materiais, avaliação das condições de defeitos e condição estrutural do pavimento. Primeiro procedeu-se o Levantamento Visual Contínuo (LVC), de acordo com a norma [9], o levantamento das condições deflectométricas com o uso do *Falling Weight Deflectometer* (FWD), e abertura de poço de sondagem para conhecimento estrutural e coleta dos materiais das camadas do pavimento, incluindo extração de corpos de prova da camada de rolamento com a sonda rotativa.

Na Figura 1 podem ser observadas imagens de alguns dos procedimentos realizados em campo, e na Figura 2 estão apresentados e identificados os perfis dos dois segmentos analisados nesta pesquisa.



Fig.1. Procedimentos realizados em campo: (a) Levantamentos deflectométricos, (b) Extração de corpos de prova revestimento asfáltico, (c) poços de sondagem – coleta dos materiais.

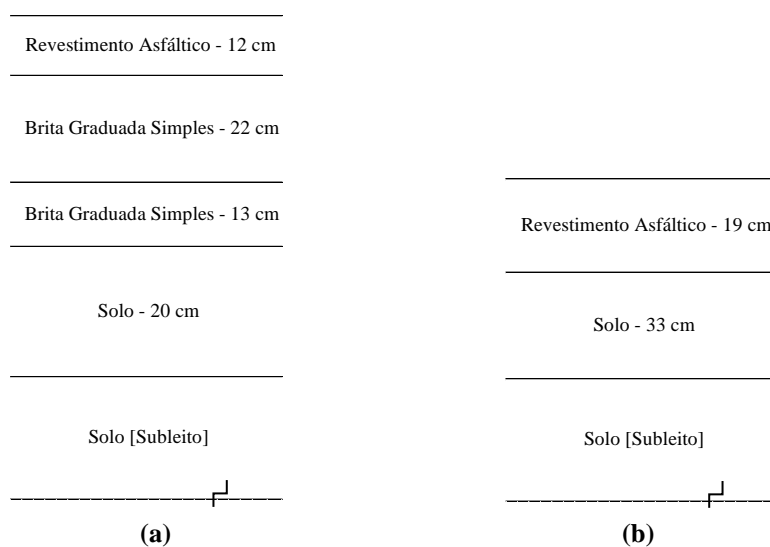


Fig.2. Perfil Estrutural dos segmentos avaliados neste estudo A (a) e B (b).

2.2 Etapa de laboratório

Consistiu na etapa experimental em laboratório com os ensaios de módulo de resiliência [10] e deformação permanente [11] para os materiais granulares das camadas subjacentes ao revestimento e módulo de resiliência [12] das misturas asfálticas. Os resultados obtidos foram utilizados como dados de entrada para as análises no programa MeDiNa.

Na Figura 3 estão representados os equipamentos do Laboratório de Pavimentos da COPPE/UFRJ utilizados para realização dos ensaios de caracterização mecânica dos materiais dos dois segmentos.

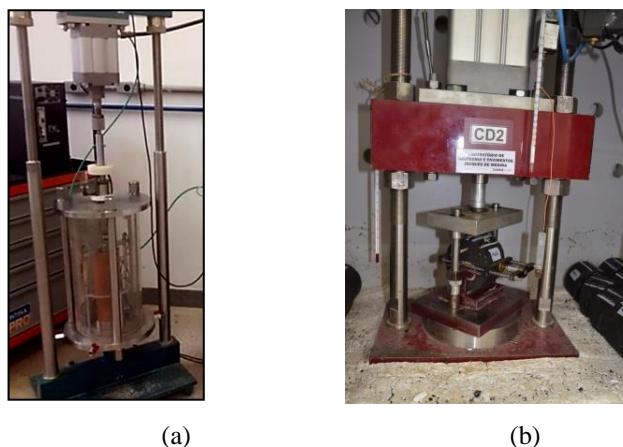


Fig.3. Equipamentos utilizados para os ensaios de: (a) módulo de resiliência e deformação permanente de materiais granulares, (b) módulo de resiliência do material betuminoso.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

O Quadro 1 contém os parâmetros de regressão dos modelos de previsão de módulo de resiliência dos materiais granulares das camadas de base, sub-base e subleito dos dois segmentos experimentais. Quanto às deformações permanentes: suas grandezas em mm para um corpo de prova de 200 mm de altura, submetidos ao menor e ao maior par de tensões ensaiadas em laboratório, conforme observados no Quadro 2. Como esperado, os materiais das camadas de base e sub-base demonstraram suportar mais solicitações que os materiais aplicados nas camadas mais profundas. O solo da camada de subleito do segmento B deformou aproximadamente 10 mm antes de 80 golpes, impossibilitando a realização do ensaio, porém no subleito as tensões não chegariam a tensões tão altas conforme avaliado na análise de tensões e deformações o que permitiu o uso desse material na camada de subleito, para as condições do tráfego estudadas.

Quadro 1. Resultados dos ensaios e parâmetros dos modelos de módulo de resiliência dos materiais granulares

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	Média	Maior
A	Base	BGS	1597,6	0,48	-0,11	0,82	253	534	738
	Sub-base	BGS	766,1	0,44	-0,26	0,62	262	411	528
	Reforço	Solo	290,9	0,46	-0,49	0,74	158	226	376
	Subleito	Solo	126,6	0,28	-0,60	0,86	116	236	465
B	Base	Solo	1012,8	0,49	-0,07	0,85	170	296	468
	Subleito	Solo	205,8	0,71	-0,85	0,81	116	173	306

*No segmento A – a camada de reforço e subleito foi considerado uma camada única na retroanálise.

Quadro 2. Resultados dos ensaios de deformação permanente dos materiais granulares

Segmento	Camada	Material	Deformação Permanente em mm para N = 150.000	
			$\sigma_c = \sigma_d = 0,04$ MPa	$\sigma_c = 0,12$ e $\sigma_d = 0,36$ MPa
A	Base	BGS	0,379	2,313
	Sub-base	BGS	0,130	1,812
	Reforço	Solo	0,186	3,430
	Subleito	Solo	0,382	8,200
B	Base	Solo	0,196	2,722
	Subleito	Solo	0,173	-

No Quadro 3 estão apresentados os resultados dos ensaios nas misturas asfálticas (concreto betuminoso usinado a quente - CBUQ) dos revestimentos dos pavimentos. As amostras foram divididas em corpos de prova (CP) com dimensões para realização dos ensaios normatizados. Foram realizadas repetições de ensaios em cada CP para confirmação dos resultados de módulo de resiliência. Os resultados foram compatíveis com o esperado para o revestimento aplicado.

Quadro 3. Resultados dos ensaios de módulo de resiliência das camadas de revestimento

Segmento	Camada	Material	Identificação do CP*	Módulo de Resiliência (MPa)		
				Menor	Média	Maior
A	Revestimento	CBUQ	1	10.730	12.356	15.281
B	Revestimento	CBUQ	1	12.799	15.526	16.636
			2	18.467	19505	25.880
			3	6.869	7.835	9.475

*O número da identificação do CP aumenta conforme aumenta a profundidade da camada.

No Quadro 4 estão apresentados os resultados da retroanálise para o segmento homogêneo e para o poço de sondagem. Para o cálculo dos MR retroanalísados, do segmento B, foi necessário dividir a camada asfáltica em duas camadas, essa decisão foi tomada por se tratar de duas camadas asfálticas construídas em períodos diferentes. Para análise do reforço do pavimento foram utilizados os valores de MR retroanalísados do segmento, que corresponde a um valor retroanalísado médio das 11 bacias deflectométricas, realizadas com o FWD, por segmento.

Quadro 4. Resultados das retroanálises realizadas nos segmentos selecionados

Segmento	Camada	Material	Módulo de Resiliência (MPa)		Coeficiente de Poisson
			Segmento	Poço de Sondagem	
A	Revestimento	CBUQ	12055	10519	0,30
	Base	BGS	176	94	0,40
	Sub-base	BGS	135	80	0,40
	Subleito	Solo	305	417	0,45
B	Revestimento	CBUQ	14.969	15.000	0,30
			3.352	3.188	0,30
	Base	Solo	490	418	0,40
	Subleito	Solo	363	373	0,45

No Quadro 5 estão apresentados alguns dos dados de entrada para o dimensionamento da camada de reforço no MeDiNa: dados do eixo padrão e dados do tráfego.

Quadro 5. Dados de entrada para análise de reforço de pavimento de dois segmentos reais no programa MeDiNa

Tipo de Via	Dados do Tráfego			Dados do Eixo Padrão	
	Segmento	A	B		
Sistema Arterial Principal	Volume Médio Diário - VMD (1º ano)	3420	5479	Carga de eixo (ton)	8,20
	N anual (1º ano)	1,25x10 ⁶	2,00x10 ⁶	Pressão de pneus (MPa)	0,56
95 % de nível de confiabilidade	Taxa de crescimento (%)	3	3	Distância entre rodas (cm)	16,20
	Período de projeto (anos)	10	10	Área (cm ²)	366,07
	N Total na pista direita	1,43x10 ⁷	2,29x10 ⁷	Raio (cm)	10,79

Utilizando os valores de MR retroanalizados, a solução de reforço sugerida para o segmento B foi a realização de fresagem de 5,5 cm dos 19 cm pré-existentes e a reposição de uma nova camada asfáltica de 5,5 cm. A nova camada asfáltica aplicada foi de Classe 4 (MR de 10.492 MPa), ou seja, uma mistura que dentro das Classes de Misturas indicadas no programa MeDiNa e que leva em consideração fadiga e MR, atende a maior quantidade de repetições do eixo padrão ($N > 1 \times 10^7$). A área trincada prevista no pavimento no fim do período de 10 anos foi de 29,5% e considerou-se aceitável para o tipo de solução empregada.

Para os valores de MR experimentais (Quadro 3 e Quadro 4), considerando camada de revestimento 1 com 15.526 MPa e camada de revestimento 2 com 7835 MPa, a análise estrutural resultou em área trincada de 15,7 % para o final dos 10 anos, o que confirma a solução escolhida.

O segmento A, devido a taxa de área trincada do segmento, apresentar em campo 25%, a solução de reforço, utilizando os valores de MR retroanalizados, sugerida neste caso foi a fresagem total da camada de revestimento asfáltico (12 cm) e reconstrução da camada de base (BGS) e a posteriori a recomposição de uma camada asfáltica de 12cm de mistura asfáltica. A nova camada asfáltica estudada e que deverá ser aplicada para atender ao tráfego também é de Classe 4 (MR de 10.492 MPa) e camada de base (BGS) que deverá ser reconstruída deverá apresentar valores superiores de MR de 380MPa. Com base nessas informações a área trincada prevista no pavimento no fim do período de 10 anos foi de 28,5%.

Com base nos projetos de reforços sugeridos para os dois segmentos apresentados neste estudo, para uma vida de projeto de mais 10 anos, foi realizado um estudo de custos para os dois projetos. A diferença do número N dos segmentos é de aproximadamente 40%. Porém observa-se que a tomada de decisão da concessão acarretou em investimentos muito maiores para a solução de reforço sugerida no segmento com menor número N. A estimativa de custo foi realizada com referência aos custos de Obras do Estado do Rio de Janeiro, os custos avaliados foram considerando 1 km de extensão por 3,6 m de largura. Com base nessas análises foi possível concluir que o custo para o reforço de 1 km do segmento A ficaria 155% superior ao custo estimado para 1 km do projeto de reforço sugerido no segmento B.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho faz parte de um projeto maior que permitiu avaliar o comportamento estrutural de 17 segmentos distribuídos ao longo de 189 km, de uma rodovia federal localizada no estado do Rio de Janeiro. Para esse estudo específico foram analisados dois destes segmentos experimentais. Em cada segmento foram avaliados as condições funcionais e estruturais por meio de levantamentos de defeitos e o uso do FWD. Também foram realizados poços de sondagens nos 17 segmentos para ensaios in situ e coleta dos materiais para ensaios a posteriori. Os materiais coletados foram levados ao laboratório da COPPE/UFRJ e submetidos aos ensaios de caracterização dos materiais, curvas de compactação, módulos de resiliências (materiais asfálticos e granulares) e ensaios de deformações permanentes com diferentes níveis de tensões.

Estes segmentos apresentam uma diferença, nas condições de tráfego (avaliando o número N), de aproximadamente 40% entre eles. Sendo que comparando os projetos de reforço sugeridos neste estudo, para atender a uma vida de projeto de mais 10 anos, o projeto do segmento A demanda muito mais recurso financeiro e tempo de obra que o segmento B, cujo o número N é menor, ou seja menos solicitado ao tráfego. A diferença de investimentos para a recuperação foi de 155% entre os dois segmentos estudados.

Foi realizado também um estudo comparativo entre os valores de MR obtidos por meio de ensaios de laboratório e valores de MR retroanalisados com o programa de retroanálise BackMeDiNa.

Com base nos resultados obtidos neste estudo e no conhecimento de campo dos autores conclui-se que a tomada de decisão durante a vida útil do pavimento é fundamental. O sistema de gerencia de pavimentos deve trabalhar em paralelo com a tomada de decisão justamente para evitar investimentos altos e o tempo de restauração da via, causando transtornos aos usuários.

5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. A quarta autora também é grata pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida pela Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6 REFERÊNCIAS

1. L. Fonseca, *Análise das soluções de pavimentação do programa CREMA 2a Etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
2. DNER 10/79 – PRO - Procedimento A - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 1979.
3. DNER 11/79 – PRO - Procedimento B - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 1979.
4. DNER 159/85 – PRO - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Rio de Janeiro, 1985.
5. DNER PRO 269/94 DNER – PRO 269/94 - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – TECNAPAV. Rio de Janeiro, 1994.
6. C.A.V. Albernaz, *Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.
7. R. L. Pinto, *Comparação entre o dimensionamento de reforço de pavimentos asfálticos pelo método mecanístico-empírico e os métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 para um segmento homogêneo da BR-222/CE e análise de sensibilidade do programa SisPavBR*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
8. J. G. Souza Junior, *Aplicação do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos a trechos de uma rodovia federal*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.
9. DNIT 008/2003 – PRO - Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
10. DNIT 134/2017 – ME - Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.
11. DNIT 179/2018 – IE - Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.
12. DNIT 135/2018 – ME - Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.