

Avaliação estrutural do pavimento executado na restauração rodovia Jorge Lacerda

Eduarda Marangoni de Souza¹,

Glicério Trichês²,

Aline Selau Santos³

Resumo: Em março de 2022 foi concluída a restauração da rodovia Jorge Lacerda, localizada no município de Criciúma, extremo sul do estado de Santa Catarina. A rodovia, com cerca de 9 km de extensão, foi construída nos anos de 1970, e além de ser um importante acesso à cidade, atualmente ela liga dois troncos logísticos importantes do Estado. Devido às péssimas condições estruturais, a restauração praticamente equivaleu a uma reconstrução do pavimento. A reconstrução, consistiu na execução localizada de remendos superficiais e remendos profundos; execução de camada de Tratamento Superficial Simples, para impermeabilizar a superfície do revestimento e propiciar melhor travamento da parte inferior da nova camada de base; execução de camada de base com 15,0 cm de Brita Graduada Simples; camada de revestimento asfáltico de 10,0 cm com asfalto-borracha. Para o dimensionamento da estrutura, cujo projeto foi aprovado em 2015, empregou-se o método do DNER/1981 (método empírico). Em 2018 foi disponibilizado à comunidade rodoviária brasileira um software para o dimensionamento empírico-mecânico de pavimentos flexíveis denominado de método MeDiNa. O objetivo deste artigo é avaliar a restauração executada à luz do novo método MeDiNa, estimando sua vida útil para se atingir uma porcentagem e área trincada de 30%. Para isso, foi selecionado um segmento de 600 metros em que se acompanhou a execução e os controles tecnológicos realizados, com medidas bacias de deflexão em três etapas do processo executivo, para a retroanálise da estrutura. Para a estimativa da vida útil do pavimento executado, manteve-se o módulo retroanalizado do subleito definido na etapa de projeto e adotou-se o modelo de fadiga da mistura asfalto-borracha e módulo resiliente do banco de dados do método MeDiNa. Para as hipóteses feitas e parâmetros adotados, a estimativa é de que o pavimento executado comece a apresentar 30% de área trincada entre 3,5 a 4,2 anos após a abertura do tráfego.

Palavras-chave: dimensionamento de pavimento; desempenho de pavimento; vida útil.

¹ Engenheira civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, duda.marangoni@outlook.com.

² Doutor, Universidade do Extremo Sul Catarinense, glicerio.triches@unesc.net.

³ Mestre, Universidade Federal de Santa Catarina, aline.selau@gmail.com.

Structural evaluation of the pavement performed in the restoration of Jorge Lacerda highway

Abstract: In March 2022, the restoration of the Jorge Lacerda highway, located in the municipality of Criciúma, in the extreme south of the state of Santa Catarina, was completed. The highway, about 9 km long, was built in the 1970s, and in addition to being an important access point to the city, it currently connects two important logistical trunks in the state. Due to the poor structural conditions, the restoration was practically equivalent to a reconstruction of the pavement. The reconstruction consisted of the localized execution of superficial patches and deep patches; execution of a Simple Surface Treatment layer, to waterproof the surface of the coating and provide better locking of the lower part of the new base layer; execution of base layer with 15.0 cm of Simple Graded Brita; 10.0 cm asphalt coating layer with rubber asphalt. For the design of the structure, whose project was approved in 2015, the DNER/1981 method (empirical method) was used. In 2018, a software for the empirical-mechanistic design of flexible pavements called the MeDiNa method was made available to the Brazilian road community. The objective of this article is to evaluate the restoration carried out in light of the new MeDiNa method, estimating its useful life to reach a percentage and cracked area of 30%. For this, a segment of 600 meters was selected in which the execution and the technological controls carried out were monitored, with measures of deflection basins in three stages of the executive process, for the retroanalysis of the structure. To estimate the useful life of the pavement, the retro-analyzed module of the subgrade defined in the design stage was maintained and the fatigue model of the asphalt-rubber mixture and resilient module from the MeDiNa method database was adopted. For the hypotheses made and the parameters adopted, the estimate is that the pavement will start to present 30% of cracked area between 3.5 and 4.2 years after the opening of traffic.

Key-words: pavement design; pavement performance; useful life estimate.

Introdução

A busca de soluções para restauração de rodovias em avançado estado de deterioração que contemplem a conceitos de sustentabilidade na execução e operação tem feito com que as projetistas cada vez mais procurem aproveitar os materiais da estrutura existente minimizando o consumo de energia e as emissões de CO₂ nos seus projetos.

Embora muitas destas soluções de restauração que são apresentadas contemplem estes conceitos e possam apresentar um custo de execução da implantação atraente para o órgão

gestor, elas não encontram abrigo nos métodos oficiais para desenvolvimento do seu dimensionamento estrutural. Também, tais soluções, não se enquadram propriamente nos métodos oficiais para o dimensionamento de um pavimento novo.

Em que pese a solução proposta não ser desenvolvida ao abrigo tanto de métodos de restauração como de dimensionamento de pavimentos novos, o fato é que em muitas ocasiões, estas alternativas acabam sendo aprovadas e contratadas pelos órgãos gestores.

A alternativa proposta para a restauração da rodovia Jorge Lacerda é uma destas soluções cujo dimensionamento estrutural não se “encaixa” nos métodos vigentes no Brasil para o cálculo de reforço estrutural. Por outro lado, mesmo com a intervenção pesada realizada, ela tão pouco pode ser caracterizada como uma solução cujo dimensionamento estrutural estaria ao abrigo do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis vigente no Brasil (DNER: 1981).

De acordo com o Projeto de Engenharia aprovado pela Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade do estado de Santa Catarina – SEI, a solução de restauração consistiu nas seguintes etapas: a) execução de remendos superficiais em locais com defeitos na superfície e remendos profundos onde as camadas da infraestrutura encontravam-se comprometidas quanto a sua capacidade estrutural; b) execução de camada de Tratamento Superficial Simples - TSS para impermeabilizar a superfície (evitando a entrada de água para o interior da estrutura, notadamente durante o processo construtivo) e propiciar melhor travamento e confinamento da parte inferior da nova camada de base; c) execução de camada de base com 15,0 cm de Brita Graduada Simples – BGS; d) imprimação seguida da execução camada de revestimento asfáltico de 10,0 cm com asfalto-borracha. A camada de revestimento foi subdividida em duas camadas de igual espessura, sendo a primeira executada com mistura asfáltica densa e a segunda com mistura asfáltica do tipo gap graded (mistura descontínua densa).

Ainda segundo o Projeto Final de Engenharia, para o dimensionamento da estrutura, empregou-se o método do DNER: 1981 (método empírico, conhecido no Brasil também como

método do CBR), isto é, o dimensionamento estrutural foi considerado como sendo de um pavimento novo.

Por se considerar uma alternativa interessante para a recuperação de rodovias com atuação de tráfego pesado e em estágio muito avançado de deterioração e tendo-se em conta a dificuldade de como conduzir o seu dimensionamento, resolveu-se delimitar um segmento na rodovia para que, através de levantamentos funcionais e estruturais sistematizados se possa avaliar o desempenho da intervenção ao longo do tempo.

Ressalta-se que o objetivo deste monitoramento não é se buscar e identificar erros de concepção ou de execução na alternativa empregada para a restauração da rodovia. O que se espera buscar é que com o estado da arte que o se tinha por ocasião do desenvolvimento do projeto e o dimensionamento estrutural (método de dimensionamento de 1981) e com as especificações construtivas adotadas e vigentes na época da contratação da construção (com datas de edição de 1990 a 2016) se possa definir parâmetros de desempenho que possam servir de balizamento para novos projetos de restauração de rodovias que contemplem esta alternativa, porém contemplando os avanços técnicos e científicos observados no Brasil (BERNUCCI et al., 2008), tanto no novo método de dimensionamento de pavimentos flexíveis (método MeDiNa) como nas novas especificações de ensaios e serviços.

Desta forma, o objetivo deste artigo é avaliar a intervenção de restauração executada à luz do novo método MeDiNa, estimando sua vida útil para se atingir uma porcentagem e área trincada de 30%.

Materiais e métodos

Para se estimar sua vida útil da restauração executada, o estudo foi dividido em três etapas. A primeira etapa constituiu-se na análise do Projeto Final de Engenharia elaborado em 2014 para a recuperação da rodovia (levantamentos realizados, estudo de tráfego, etc.). Na segunda etapa, realizou-se um acompanhamento da execução da restauração, onde foram analisados os ensaios referentes ao controle de espessura e compactação das camadas de base

e revestimento asfáltico, bem como a análise do controle da usinagem e aplicação da mistura asfáltica tendo-se como referencial a especificação (DEINFRA, 2016). Na terceira etapa, foram realizados levantamentos das bacias de deflexão na camada de base acabada e nas camadas de revestimento asfáltico, utilizando a viga Benkelman (VB). Posteriormente, estimou-se os módulos resilientes dos materiais do pavimento restaurado através de retroanálise das bacias aplicando-se o software BackMeDiNa, onde necessitou-se converter as medidas da VB para medidas de FWD. Empregando-se o Método MeDiNa, foi estimada a vida útil do pavimento, comparando-a com o tráfego previsto em projeto para o período de projeto. A Figura 1 apresenta o fluxograma com as etapas do presente estudo.

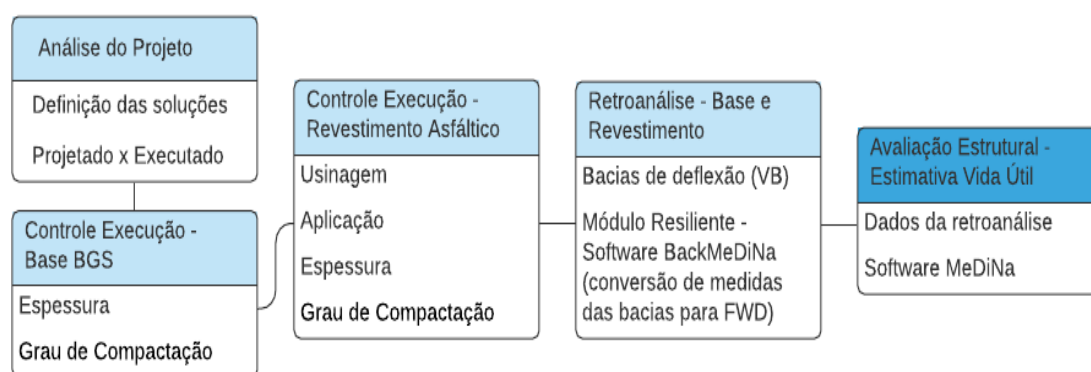


Figura 1. Fluxograma: etapas do trabalho.

Para a caracterização da estrutura do pavimento existente e coleta de material para realização de ensaios geotécnicos, foram abertas trincheiras a cada 500 metros. A Tabela 1 apresenta a caracterização da estrutura do pavimento e os resultados dos ensaios de laboratório e ensaios in situ no trecho onde foi selecionado o segmento para ser monitorado.

O estudo de tráfego apresentou um número estimado de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 8,2 toneladas (N8,2tf) de $3,22 \times 10^7$, aplicando-se os coeficientes do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos – USACE).

O levantamento funcional do pavimento apresentou defeitos do tipo trincas, afundamentos plásticos, trilha de roda, ondulações, escorregamentos, exsudação, desgastes,

buracos, entre outros. A Figura 2 apresenta um dos locais com a presença de afundamento plástico, caracterizando a ruptura da estrutura do pavimento, no trecho onde foi delimitado o segmento a ser monitorado e analisado neste artigo.

Tabela 1. Resultados dos ensaios (Fonte: Única - Consultores de Engenharia Urbana Ltda 2014).

ENSAIOS		CAMADAS	
Sonda Rotativa	Subleito	Base	Revestimento
Material	Pirita	Seixo classificado	CBUQ convencional
Espessura	-	17,0 cm	7,0 cm
Laboratório	Subleito	Base	Revestimento
Umidade ótima	7,29%	7,04%	-
Massa específica aparente seca	2,00 kg dm ⁻³	2,27 kg dm ⁻³	-
ISC	69,30%	115,60%	-
Expansão	0,51%	Nula	-
Retração	0,30%	-	-
Abrasão	-	17,20%	-
Teor de asfalto	-	-	4,45%
<i>In situ</i>	Subleito	Base	Revestimento
Umidade ótima	7,30%	6,90%	-
Massa específica aparente seca	2,00 kg dm ⁻³	2,27 kg dm ⁻³	-
Grau de compactação	100% (PM)	100% (PM)	-



Figura 2. Afundamento plástico, escorregamento e trincas em trilha de roda externa.

A avaliação estrutural do pavimento (medida da deflexão) foi realizada com a viga Benkelman.

A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros para definição das soluções e do projeto de pavimentação da obra para o segmento homogêneo 2, onde está inserido o segmento a ser monitorado. Todos os parâmetros foram obtidos seguindo as normas do DNER-PRO (DNER-PRO 011/79, DNIT 006/2003) e sendo esta última (DNIT 006/2003) utilizada para o inventário dos defeitos da rodovia empregado e para o cálculo do Índice de Gravidade Global - IGG.

Tabela 2. Resumo dos parâmetros Funcionais e estruturais do segmento 2 (Fonte: Única - Consultores de Engenharia Urbana Ltda, 2014).

Início (km)		03+500
Fim (km)		06+000
Extensão (km)		2,50
Deflexão Característica Recuperável (Dc)	D* (x 0,01 mm)	51,69
	Sd*	16,72
	Dc (x 0,01 mm)	68,42
	CV* (%)	32,35
Raio de Curvatura Característico da Bacia (Rc)	R* (m)	116,80
	Sd*	50,41
	Rc (m)	66,39
	CV* (%)	43,16
Área trincada (%)	FC-2	35,60
	FC-3	32,40
	FC-2 + FC-3	1,20
Painéis (qtd/km)		45,60
Remendos (qtd/km)		55,60
Afundamento Trilha de Roda - ATR (mm)		5,23
IGG		196,50
Conceito IGG		Péssimo

D: deflexão média; R: raio médio, Sd: desvio padrão, CV: coeficiente de variação

De acordo com a norma (DEINFRA-SC ES-P 05/16) a Deflexão Admissível (Dadm) para o período de projeto é calculada empregando-se o modelo da Eq. 1.

$$\log D_{adm} = 3,0 - 0,176 \times \log \left[\frac{f_0}{N_{USACE}} \right] \quad (1)$$

Em que:

D_{adm} = Deflexão admissível (x 0,01mm);

N_{USACE} = Número N definido pelo método USACE.

Entretanto, de acordo com esta norma, em que pese o nível deflectométrico ser relativamente baixo no segmento, a qualidade da estrutura foi classificada como má e, devido ao avançado estado de deterioração do pavimento, não teria embasamento técnico a alternativa de execução de uma camada de reforço sobre o pavimento existente, sendo recomendável a reconstrução da estrutura como medida corretiva.

Como foi indicada a reconstrução do pavimento como medida corretiva, não foram utilizados métodos de cálculo de reforço da estrutura. A determinação das espessuras das camadas executadas sobre o revestimento antigo foi realizada considerando-se como se fosse um pavimento novo, empregando-se o método de dimensionamento do pavimento flexível (SOUZA, M. L,1981).

Etapa 2 - Acompanhamento da execução da restauração.

A restauração do trecho onde se encontra o segmento a ser monitorado foi realizada na seguinte sequência:

- ✓ Execução de remendos superficiais e preenchimento com asfalto convencional CAP 50/70, faixa C (DEINFRA-SC ES-P 05/16);
- ✓ Execução de profundos nos pontos críticos. Diferente dos remendos superficiais, não foi executada camada de revestimento asfáltico nos remendos profundos, e a camada de base foi nivelada com o revestimento existente;
- ✓ Execução de tratamento superficial simples em toda a extensão da rodovia, a fim de impermeabilizar as trincas e outros defeitos não corrigidos pelos remendos e propiciar um melhor confinamento da face inferior da camada de base;
- ✓ Camada de base e brita graduada simples com 15,0cm de espessura;

- ✓ Camada de ligação de 5,0 cm de CAUQ com asfalto-borracha faixa C (mistura densa com granulometria contínua) e camada de rolamento de 5,0 cm de CAUQ com asfalto-borracha do tipo gap graded (mistura densa com granulometria descontínua) (DEINFRA-SC ES-P 05/16).

O asfalto-borracha empregado é classificado como AB8 (15 % de adição de borracha) - CAPFLEX B, com PG 64-22.

As características gerais da mistura são determinadas através do método Marshall (DNER-ME 043/95) e estão discriminadas na Tabela 3.

Após a execução da camada de revestimento asfáltico, foram extraídos corpos de prova a cada 100 metros através de sonda rotativa para conferência da espessura e grau de compactação (total de 12 corpos de prova no segmento monitorado) e o levantamento das bacias de deflexão (DNER-ME 061/94) com emprego da viga Benkelman (DNER-ME 024/94). O levantamento foi realizado cada 20 m intercalando os lados da pista (30 bacias no segmento monitorado)

Tabela 3. Misturas asfálticas (Fonte: JR - Construções e Terraplenagem Ltda, 2021).

CARACTERÍSTICAS MISTURAS	Faixa C Pedreira 1	Faixa C Pedreira 2	<i>Gap graded</i> Pedreiras 1 e 2
Teor de ligante (%)	5,10	5,00	5,50
Massa específica aparente (kg cm ⁻³)	2,553	2,544	2,510
Volume de vazios (%)	4,10	4,60	5,20
Relação Betume Vazios - RBV (%)	73,40	71,70	71,20
Volume Agregado Mineral (%)	15,50	16,60	17,80
Estabilidade (kgf)	970,0	911,0	917,0
Fluência (mm)	3,50	3,40	3,40
Resistência à Tração Compressão Diametral – RT (MPa)	1,15	1,16	1,03
Concentração crítica de finos	0,88	0,70	0,70
Dano por Umidade Induzida – DUI (%)	78,05	80,63	79,25

A Figura 3 apresenta a estrutura final do pavimento do segmento de estudo após a execução da restauração, com valor médio das espessuras das camadas.

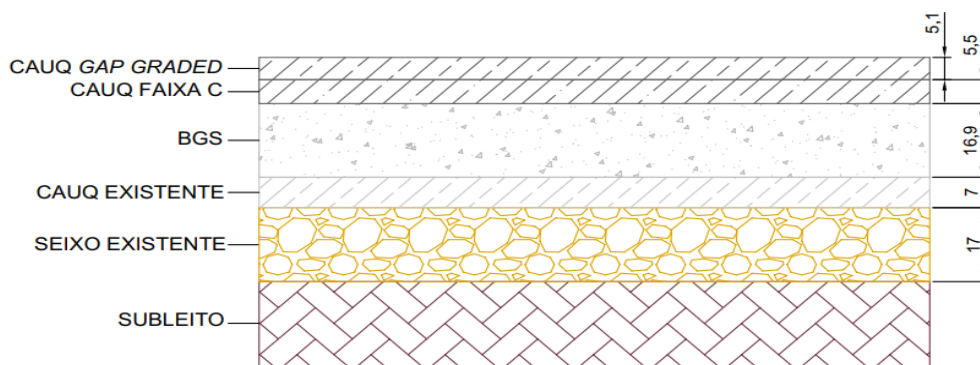


Figura 3. Seção transversal do pavimento restaurado (espessuras em cm).

Etapa 3 - Retroanálise das Bacias e Estimativa da Vida Útil da Restauração Executa.

Segundo o manual de ajuda disponibilizado pelo DNIT, o BackMeDiNa (DNIT – 2020) calcula os módulos resilientes de forma iterativa, utilizando análise elástica linear a partir da variação em torno de um valor de módulo central, até conseguir alcançar uma bacia teórica mais próxima da bacia de deflexão analisada, comparando a raiz do valor quadrático médio (RMS) da diferença entre bacias de campo e bacias calculadas. RMS inferior a 5% indica boa correlação, entre 5 e 10% indica correlação razoável e RMS acima de 10% indica que a correlação obtida não foi satisfatória.

Após obtenção dos módulos a partir da retroanálise, utilizou-se o programa MeDiNa, que realiza a análise e o dimensionamento de pavimentos asfálticos de forma mecanística-empírica.

Resultados e discussões

Camada de base

O resultado do ensaio de densidade in situ da camada de base está apresentado na Tabela 4 e, como pode ser observado, nenhum dos pontos ensaiados apresentou grau de compactação inferior a 100%, conforme recomendação da empresa projetista.

Tabela 4. Grau de compactação da base (Fonte: JR - Construções e Terraplenagem Ltda, 2021).

Estaca	Lado	Massa esp. aparente seca (<i>in situ</i>) (ton m ⁻³)	Massa esp. Aparente seca máx. (lab.) (ton m ⁻³)	Grau de compactação (%)
5+400	LE	2496	2480	100,6
5+500	LD	2503	2480	100,9
5+600	LE	2502	2480	100,9
5+620	LD	2480	2480	100,0
5+720	LE	2487	2480	100,3
5+820	LD	2481	2480	100,0
5+860	LD	2496	2480	100,6
5+960	LE	2493	2480	100,5
				MÉDIA
				100,5
				DESVIO PADRÃO
				0,004
				t
				1,90
				μmín
				99,8

Camada de revestimento.

A Tabela 5 contém os resultados do controle de qualidade do teor de asfalto, da espessura e do grau de compactação da camada ligação nos locais onde foram extraídos os corpos de prova por meio de sonda rotativa.

Tabela 5. Controle camada de ligação (Fonte: JR - Construções e Terraplenagem Ltda, 2021).

Estaca	Lado	Teor de asfalto (%)	Espessura (cm)	Grau de compactação (%)
5+480	EIXO LD	5,21	5,35	97,7
5+580	LE	5,21	5,36	97,0
5+680	LD	5,29	5,64	98,5
5+780	LE	5,22	5,92	99,8
5+880	EIXO LE	5,22	5,63	98,3
5+980	LD	5,26	5,02	99,2
				MÉDIA
				5,49
				98,4
				DESVIO PADRÃO
				0,311
				0,010
				t
				2,02
				2,02
				μmín
				4,86
				96,4

A Tabela 6 contém os resultados do controle de qualidade do teor de asfalto, da espessura e do grau de compactação da camada de rolamento nos locais onde foram extraídos os corpos de prova por meio de sonda rotativa.

Tabela 6. Controle camada de rolamento (Fonte: JR - Construções e Terraplenagem Ltda, 2021).

Estaca	Lado	Teor de asfalto (%)	Espessura (cm)	Grau de compactação (%)
5+400	LD	5,20	5,07	97,2
5+500	EIXO LD	5,25	5,07	98,2
5+600	LE	5,25	4,98	98,8
5+700	EIXO LE	5,25	5,30	99,1
5+800	LD	5,28	5,13	97,6
5+900	EIXO LD	5,26	4,99	97,8
6+000	LE	5,26	5,41	98,3
CONTROLE ESTATÍSTICO		MÉDIA	5,14	98,1
		DESVIO PADRÃO	0,161	0,007
		t	1,94	1,94
		μmín	4,82	96,9

Retroanálise das bacias de deflexão.

Inicialmente, correlacionou-se as bacias medidas com a viga para bacias medidas com o FWD utilizando-se os seguintes modelos (BORGES, C. B. S, 2001).

$$\text{Para 5,0 cm: } D_{VB} = 1,193 \times D_{FWD}, \text{ com } R^2 = 0,73 \quad (2)$$

$$\text{Para 10,0 cm: } D_{VB} = 1,486 \times D_{FWD} - 11,144, \text{ com } R^2 = 0,77 \quad (3)$$

Em que:

DVB = Deflexão com VB (x 0,01mm);

DFWD = Deflexão com FWD (x 0,01mm);

R^2 = coeficiente de determinação.

Não foi feito a correção das deflexões para temperatura tendo-se em conta que os trabalhos na região segmento monitorado os serviços ocorreram durante a estação primavera.

A Tabela 7 apresenta a média das bacias deflexões para os seis valores menores de deflexões medidos, para os seis valores intermediários e para os seis valores maiores.

Teve-se uma certa dificuldade em se realizar a retroanálise das bacias de deflexão medidas sobre camada de base, camada asfáltica de ligação e sobre a camada asfáltica de rolamento utilizando-se o software MeDiNa. Acredita-se que tal dificuldade esteja relacionada com a presença da camada de revestimento antigo na estrutura (pequena espessura e grande

rigidez) aliado ao fato que o software não permite considerar camada com esta espessura nesta posição da estrutura (vide Figura 3).

Tabela 7. Média das bacias de deflexão.

CAMADA DE BASE							
Distância (cm)	0	25	50	75	100	125	150
Deflexão média menor (μm)	370	180	110	60	50	40	30
Deflexão média intermediária (μm)	510	200	120	60	50	30	30
Deflexão média maior (μm)	690	340	140	90	60	40	30
CAMADA ASFÁLTICA DE LIGAÇÃO							
Distância (cm)	0	25	50	75	100	125	150
Deflexão média menor (μm)	320	240	100	80	50	30	20
Deflexão média intermediária (μm)	450	240	120	80	60	30	20
Deflexão média maior (μm)	560	320	160	90	60	40	30
CAMADA ASFÁLTICA DE ROLAMENTO							
Distância (cm)	0	25	50	75	100	125	150
Deflexão média menor (μm)	270	180	90	70	40	15	14
Deflexão média intermediária (μm)	300	200	110	110	50	17	15
Deflexão média maior (μm)	420	260	150	120	60	15	13

OBS.: medidas já convertidas para FWD de acordo com o modelo da Eq. 2 e 3

Após inúmeras tentativas de fazer com se tivesse um menor valor do erro quadrático médio (RMS), o melhor resultado obtido foi conseguido da seguinte forma:

- ✓ Manteve-se o valor do módulo resiliente do subleito retroanalizado na fase de elaboração do projeto de restauração;
- ✓ Módulo de resiliência do revestimento de acordo com os valores contidos no banco de dados do software MeDiNa para misturas com asfalto-borracha;
- ✓ Camada revestimento asfáltico antiga incorporada na camada de sub-base antiga. Desta forma, passou-se a considerar um sistema elástico de 4 camadas (e não 5 camadas, como ilustrado na Figura III) e a camada de sub-base como espessura de 24,0 cm);
- ✓ Ajustando-se os módulos das demais camadas para que a deflexão máxima calculada se aproximasse do valor medido em campo;
- ✓ Monitorando o valor do RMS, para que ele fosse o menor possível.

A Tabela 8 apresenta os valores médios estimados para o módulo de resiliência das camadas do pavimento para as 6 bacias com menores valores de deflexão máxima medida na camada de revestimento.

Tabela 8. Valores médios estimados para o módulo de resiliência das camadas do pavimento para as 6 bacias com menores valores de deflexão máxima medida na camada de revestimento.

Camada	Tipo	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef. Poisson
Concreto asfáltico borracha	CAPFLEX B PG 64-22	10,6	4980	0,30
Material granular	Brita graduada	16,9	650	0,35
Material granular	Camada remanescente	24,0	1500	0,40
Subleito	Subleito	-	228	0,45

Estimativa da vida útil

Para as considerações feitas ao longo da análise conduzida (módulo resiliente e parâmetros da curva de fadiga da mistura asfáltica do revestimento obtidos do banco de dados do software MeDiNa) e módulos retroanalizados mostrados na Tabela 8, a deflexão máxima calculada pelo MeDiNa é de 25 x 0,01 mm e a porcentagem de área trincada do revestimento irá exceder a 30% entre 3,5 a 4,2 anos após a abertura ao tráfego.

Para atender ao tráfego do período de projeto (1,09 a 107) o programa mostra que a espessura o revestimento asfáltico para assegurar 30% de área trincada dentro do período de projeto para o tráfego solicitado seria de 16,5 cm.

Conclusão

Os resultados da retroanálise combinados com a adoção de parâmetros de comportamento dos materiais contido no banco de dados do software MeDiNa, foi possível se estimar a vida útil para a alternativa executada para a restauração da rodovia. Considerando-se as hipóteses assumidas, a estimativa é que o pavimento executado apresente 30% de área trincada entre 3,5 a 4,2 anos após a abertura do tráfego.

Provavelmente, um dos fatores que mais influenciou o resultado obtido está relacionado com o método que foi utilizado para o dimensionamento da estrutura do pavimento

a ser restaurado (método DNER/1981, empírico) e o método que foi utilizado para a condução da análise apresentada, a qual foi conduzida com o software MeDiNa (método mecanístico-empírico). Para o tráfego estimado no período de projeto, o método DNER/81 indica que o revestimento deve ter uma espessura de 10,0cm, um equivalente estrutural de 2 (independente se a mistura é industrializada como um ligante modificado), e não se tem uma previsão da porcentagem da área trincada ao final do período de projeto. Por outro lado, utilizando-se o método MeDiNa, a espessura do revestimento deveria ser 16,5 cm para assim atingir 30% de área trincada no final do período de projeto.

Ressalta-se que o objetivo do trabalho apresentado não é identificar “este está certo, aquele errado” e sim, se avaliar como se poderá tirar proveito no dimensionamento de uma estrutura de pavimento (seja em uma restauração como descrito neste artigo, seja para um pavimento novo) a partir do conhecimento das propriedades de comportamento dos materiais e empregando-se o novo método MeDiNa.

Entretanto, somente o acompanhamento periódico e sistemático do desempenho da rodovia restaurada juntamente com a realização de ensaios de laboratório é que de fato fornecerão informações mais acuradas sobre a evolução do trincamento do revestimento com a atuação do tráfego e desta forma, se poder fazer a calibração do próprio método MeDiNa.

Assim, ainda que não sejam realizados ensaios de laboratório, recomenda-se o acompanhamento periódico e sistemático do desempenho do trecho, medindo-se a porcentagem de área trincada e afundamento de trilha de roda para avaliar se a estimativa da vida útil obtida a partir dos parâmetros adotados condiz com o desempenho de campo. Isto, por si só, certamente trará uma série de informações e parâmetros de desempenho que poderão ser utilizados como balizamento pelos consultores em novos projetos de restauração

Referências

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2008.



BORGES, C. B. S. (2001). **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com Viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. 2001 Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DNIT - Departamento nacional de infraestrutura de transportes (2020). **Manual de Ajuda:** Programa MeDiNa versão 1.1.5.

DEINFRA - Departamento de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina (2016). DEINFRA-SC ES-P 05/16: Pavimentação: Camadas De Misturas Asfálticas Usinadas A Quente.

DNIT- Departamento nacional de infraestrutura de transportes (1979). DNER-PRO 011/79: Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, Procedimento - B.

DNIT- Departamento nacional de infraestrutura de transportes (2003). DNIT 006/2003 - PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagens (1995). DNER-ME 043/95: Misturas betuminosas a quente - Ensaio Marshall.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagens (1994). DNER-ME 061/94: Pavimento - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagens (1994). DNER-ME 024/94: Pavimento - Determinação das deflexões pela viga Benkelman.

DNIT - Departamento nacional de infraestrutura de transportes (2020). Manual de Ajuda: Programa BackMeDiNa versão 1.2.0.

JR - Construções e Terraplenagem Ltda (2021). **Relatório mensais da execução da restauração da rodovia Jorge Lacerda**. Circulação restrita.

SOUZA, M. L. (1981). **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 1981.

Única - Consultores de Engenharia Urbana Ltda (2014). **Projeto de engenharia rodoviária para obras de restauração de rodovia:** Rodovia Acesso Sul de Criciúma, trecho BR-101 – Entroncamento SC-108 (SC-446). Volume 3.