

REALIZAÇÃO DE PROJETO DE INTERVENÇÃO EM RODOVIA DE CAMADA SUPERFICIAL FLEXÍVEL COM EXEMPLO PRÁTICO

Gustavo Ventura Pereira

Engenheiro Civil – Planejamento e gestão de custos - Neopav Engenharia

Limeira, São Paulo, Brasil, gustavo-venturap@live.com.br

CREA-SP 5071014333

Maria José Ayres Guidetti Zagatto

Profa. MSc. Engenheira Civil - Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP-FUMEP)

Piracicaba, São Paulo, Brasil, zezegatto@yahoo.com.br

CREA-SP 5060041538

RESUMO

Com o crescimento da frota de veículos leves e aumento no transporte de cargas pesadas nas rodovias do estado de São Paulo observado ao longo dos anos, muito se vê nas mídias atuais e em diários oficiais um aumento significativo de investimentos na área de infraestrutura rodoviária e uma projeção de gastos ainda maior para os próximos anos.

Este artigo técnico visa apresentar o método utilizado para a elaboração de um projeto de restauração de pavimento em rodovia com pavimento com camada superficial flexível, atendendo as normas vigentes e levando em consideração os fatores apresentados em uma rodovia existente. A solução a seguir apresentada refere-se a manutenções programadas ou intervenções, que possui como premissa a realização de uma manutenção com um período de projeto previamente estipulado.

Será apresentado ainda, uma intervenção em uma rodovia duplicada no interior de São Paulo com o horizonte de projeto de sete anos, a fim de mensurar a quantia investida anualmente na manutenção a longo prazo em rodovias com camada asfáltica.

Palavras-chave: Pavimento flexível, projeto, intervenção, restauração de pavimento

ABSTRACT

With the growth of the light vehicle fleet and the increase in the transport of heavy loads on the highways of the state of São Paulo observed over the years, a significant increase in investments in the area of road infrastructure and a even higher expenditure projection for the coming years.

This technical article aims to present the method used for the elaboration of a pavement restoration project on roads with pavement of the type with flexible surface layer, meeting the current regulations and taking into account the factors presented in an existing road. The solution presented below refers to scheduled maintenance or interventions, which have as a premise the performance of maintenance with a previously stipulated project period.

It will also be presented an intervention in a duplicated highway in the interior of São Paulo with a project horizon of seven years, in order to measure the amount invested annually in the long-term maintenance of highways with asphalt layer.

Key-words: Flexible pavement, project, intervention, pavement restoration

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os países que possuem a maior malha rodoviária do mundo¹ e este cenário está diretamente ligado à industrialização do país entre os anos 50 e 60, quando o foco era o atrativo das empresas estrangeiras do ramo automobilístico e as rodovias eram tidas como o futuro da infraestrutura.

Segundo a ANTT (2006)², os transportes rodoviários correspondem hoje a 60% do total de cargas transportado no Brasil, e 75% de todo o produto produzido em território nacional é transportado pelas rodovias.

Esse fluxo de cargas pesadas acarreta na danificação do pavimento, uma vez que este é projetado para suportar um limite de carga estipulada em cálculo. Quando esses limites são ultrapassados os danos começam a surgir, sejam esses aparentes e instantâneos ou danos causados a longo prazo que podem prejudicar até a base do pavimento.

1 Maiores malhas rodoviárias do mundo: <https://mobilidadehumana.wordpress.com/2013/06/15/maiores-malhas-rodoviaras-do-mundo/>

2 ANTT divulga primeiros resultados do Registro do Caminhoneiro: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/185474

O custo de manutenção em pavimentos possui uma considerada parcela do orçamento disponibilizado pelo governo (federal, estadual ou municipal) para investimentos em infraestrutura e percebe-se que em contrapartida que o Brasil é o primeiro país em porcentagem de rodovias sob concessões.³

Para compreender a origem de um defeito e como sanar com manutenções corretivas ou até mesmo precaver com uma manutenção preventiva, é necessário compreender como cada tipo de pavimento é constituído, desde suas camadas mais profundas como o subleito, até as camadas superficiais, como a camada de rolamento. Suas camadas refletem nos esforços que cada pavimento está susceptível a sofrer e apresentar defeitos específicos, sejam eles provindos dos métodos construtivos, intemperismo ou queles adquiridos com a solicitação excessiva não designada em projeto.

Por tratar-se de serviços com custos elevados, deve-se levar considerar na elaboração de um projeto de manutenção uma solução que se adeque a patologia apresentada além de ser economicamente viável e praticável diante a execução.

2. METODOLOGIA

Para apresentação da escolha de uma solução compatível com as patologias e estudos elaborados, será utilizado como exemplo a intervenção realizada na Rodovia SP 147, trecho denominado “Rodovia Deputado Laercio Corte” que realiza as ligações intermunicipais entre os municípios de Piracicaba, Iracemápolis e Limeira, possui 31,25 quilômetros de extensão, liga os sentidos leste e oeste geográficos, localizada nos quilômetros 111+750 ao 142+900, faixas duplas em todo o trecho, está inserida dentro do perímetro urbano de duas cidades de médio porte e exerce grande influência econômica na região metropolitana de Piracicaba.

Os estudos apresentados a seguir referem-se aos levantamentos realizados em 2018 com previsão de execução dos serviços em 2019. A rodovia encontrava-se no período, e até a data de publicação deste artigo, sobre administração de participação privada (concessão).

³ Brasil é líder em concessões rodoviárias no mundo: <https://www.poder360.com.br/brasil/brasil-e-lider-em-concessoes-rodoviaras-no-mundo/#:~:text=Nos%20Estados%20Unidos%2C%20topo%20do,1.000%20km%20quadrados%20de%20territ%C3%B3rio.&text=A%20lideran%C3%A7a%20brasileira%20est%C3%A1%20no,Programas%20de%20Parcerias%20de%20Investimentos>).

2.1. Gatilhos para restauração e estudos preliminares

Ao longo do período de utilização de uma rodovia, comumente são realizados ensaios periódicos para monitoramento da condição do pavimento existente, e um desses indicadores é o IRI (International Roughness Index), que possui como finalidade definir o deslocamento longitudinal do veículo perante a irregularidade da superfície.

O manual DNIT de Restauração de Pavimentos Asfálticos (2006) recomenda como gatilho para início de uma restauração valores de IRI iguais ou superiores a 3,5 m/km.

Além do IRI, o manual recomenda outros gatilhos facilmente reconhecidos aos olhos humanos, sendo eles:

- Trincas na superfície: para o DNIT (2003), possuem dimensão superior às fissuras e podem ser observadas facilmente a vista desarmada. As trincas, ainda podem ser sub classificadas como isoladas ou interligas.
- Desgaste da superfície: Ribeiro (2017) associa o desgaste sendo proveniente de dois fatores: o tráfego constante e o intemperismo. O desgaste causado pelos fatores é possível por conta da má ligação entre os agregados ou erros construtivos.
- Painelas ou buracos: Cavidades de tamanhos variados
- Afundamento das trilhas de roda: As trilhas de roda apresentam-se na direção longitudinal de uma rua pavimentada ou rodovia e seu formato assemelha-se a um trilho onde a roda do veículo segue como um encaixe. Segundo Ribeiro, 2017, as rodeiras são causadas pela consolidação do movimento lateral dos materiais em qualquer camada quando sujeita ao carregamento.

Tendo em vista o aparecimento de alguns desses gatilhos apresentados, o administrador do trecho deve levar em consideração uma restauração do pavimento existente e para isso se faz necessário a avaliação para definição da melhor solução para as patologias encontradas em campo.

Para definição desta solução de manutenção do pavimento, deve-se ter como premissas o horizonte do projeto, o estudo de tráfego na região e as avaliações realizadas no pavimento existente. Após o levantamento, a solução deverá atender às exigências mínimas normativas.

O período de projeto adotado para esta intervenção foi de sete anos. Esse período de projeto foi informado pela administradora do trecho e, em outras palavras, diz que as manutenções realizadas devem resistir, no mínimo, o período de projeto estipulado. Nesse período, não necessariamente haverá a ausência de manutenção, porém as manutenções serão pontuais em locais onde não foram realizadas nenhuma intervenção referente a este projeto.

2.1.1. Cálculo do número equivalente por eixo padrão “N”

Definido o período de projeto, faz-se necessário o cálculo do “número N” para futuramente a definição da espessura do reforço escolhido, quando necessário. Para o cálculo de “N”, utiliza-se da seguinte expressão:

$$N = 365 * P * VDM * Fv * Fr * D * d$$

Onde:

- N = número equivalente de operações por eixo padrão;
- P = horizonte de projeto;
- VDM = Volume diário médio de tráfego;
- Fv = Fator de veículo;
- Fr = Fator Climático regional;
- D = porcentagem de veículos comerciais na faixa mais solicitada;
- d = porcentagem de veículos por sentido.

O valor do VDM é obtido a partir de contadores pontuais em localizações estratégicas ao longo do trecho. Para o estudo prático, os contadores foram posicionados nos quilômetros 113+550, 122+730 e na praça de pedágio no quilômetro 127+200, em ambos os sentidos. Os dados foram obtidos pela administradora do trecho e coletados entre os períodos de março de 2017 a fevereiro de 2018.

O fator do veículo (Fv) é o produto do fator do eixo pelo fator da carga, e a contagem por categoria de veículo foi realizada na praça de pedágio do quilômetro 127+200 no mesmo período amostral do levantamento do VDM.

Por fim, o fator regional, em determinação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, sugere adotar para a categoria o valor 1,0 (um).

Resumidamente, os valores calculados de “N” para os pontos de contagem e para o horizonte de sete anos estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1 - N calculado

PONTO	KM Inicial	KM Final	Sentido	N_{AASHTO}	N_{USAGE}
113+560	111+750	118+000	Leste	1,27E+07	2,75E+07
	111+750	118+000	Oeste	1,14E+07	2,80E+07
122+730	118+000	124+000	Leste	3,97E+06	9,80E+06
	118+000	124+000	Oeste	4,34E+06	1,07E+07
Praça de pedágio	124+000	143+000	Leste	3,52E+06	8,68E+06
	124+000	143+000	Oeste	3,63E+06	8,95E+06

Fonte: Do próprio autor

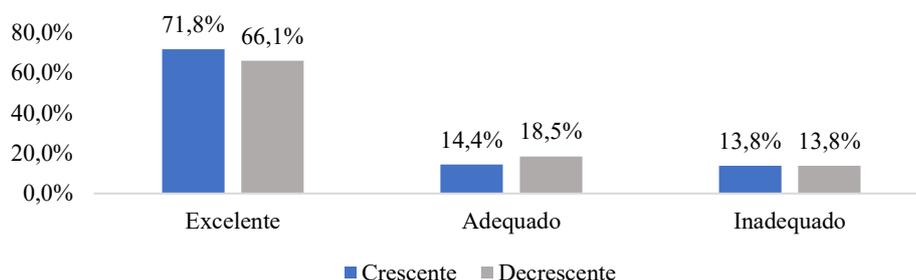
2.1.2. Levantamento do IRI existente

O levantamento do IRI foi realizado através do equipamento PavScan, que utiliza de sensores ópticos para criação de uma visão 3D do pavimento e são instalados na traseira de um veículo que trafega a uma velocidade constante no trecho ensaiado.

Para este projeto, foram classificados IRI como excelente aqueles que possuíram valores menores ou iguais a 2,1, adequados aqueles que estão entre 2,1 e 2,7 e inadequados os valores acima de 2,7. Essas categorias são escolhidas a fim de que em um período de sete anos as leituras não ultrapassem o valor mínimo estipulado pelo DNIT de 3,5 m/km

No estudo do IRI, foi observado que o conforto da camada de rolamento apresentou excelência em no mínimo 2/3 de todo o trecho analisado, tanto na pista crescente quanto decrescente, conforme indicado no gráfico 1.

Gráfico 1: IRI Existente



Fonte: Do próprio autor

2.1.3. Leitura da deflexão do pavimento existente

A leitura da deflexão permite conhecer a resposta das camadas do pavimento a aplicação de uma carga, ou seja, quando uma carga é aplicada sobre a superfície do pavimento, consequentemente as camadas inferiores reagem devido as tensões e deformações. Desse modo, pavimentos saudáveis tendem a ter módulos de deflexões menores que pavimentos danificados. DNIT (2006)

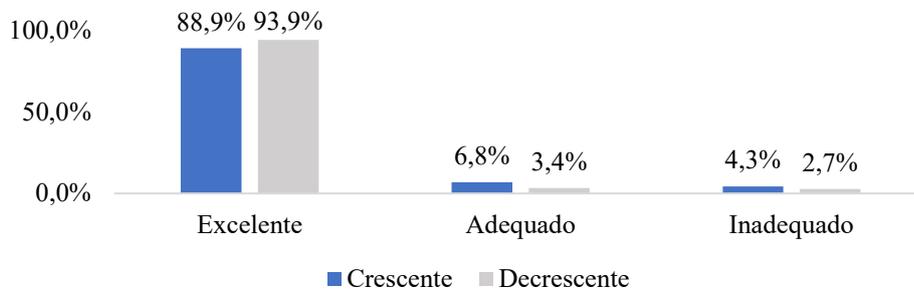
A leitura da deflexão pode ser obtida empiricamente através da passagem da viga Benkelman, previamente aferida conforme a norma DNER-PRO 175/94 e utilizando os métodos de leitura da norma DNER-ME 024/94.

Para a rodovia em análise, a obtenção da deflexão ocorreu pelo método do FWD (Falling Weight Deflectometer) que realiza uma medição da deflexão do pavimento quanto aplicado um impacto localizado. Os sensores realizam uma tradução dos deslocamentos verticais em diferentes posições em relação ao ponto de carregamento. Estes tipos de ensaio, assim como a passagem da viga, permitem compreender como a estrutura do pavimento se comporta quando solicitada, porém a análise é realizada eletronicamente.

A avaliação da resposta estrutural do pavimento está associada ao tipo de estrutura de pavimento existente e ao tráfego previsto para solicitá-lo ao longo do horizonte de análise, todavia, conhecendo-se os valores da faixas de tráfego propostos para um pavimento recém construído, levando em consideração as normas DNER PRO 10/79, DNER PRO 11/79 e aplicando os valores obtidos do número “N” apresentados anteriormente, podem ser propostas as seguintes faixas de valores referenciais para a deflexão proposta das rodovias sob alto volume de tráfego, sendo os valores menores ou iguais que 50 considerados excelentes, acima de 50 até 60 como adequados e os inadequados superiores a 60.

No estudo do FWD, os dados apresentaram insuficiência em menos de 5% do trecho analisado, conforme o gráfico 2.

Gráfico 2: Deflexão existente



Fonte: Do próprio autor

A grande vantagem da utilização do equipamento FWD é a capacidade que os sensores tem de identificar a deflexão não somente na superfície, mas também analisar a deformação em cada camada do pavimento, desse modo é possível realizar o calculo do raio de curvatura e também analisar a deflexão nas camadas mais inferiores do pavimento.

Foi possível então calcular o raio de curvatura da bacia de deflexão medida que indica as características elásticas dos componentes da porção superior da estrutura (revestimento e base). Esses números são obtidos a partir da fórmula proposta pela norma DNER-PRO 11/79 e a faixa admitida como excelente são superiores ou iguais a 400 m, regulares entre 200 m até 400 m e inadequados aqueles que possuem um raio de curvatura inferior a 200 m.

$$Raio = \frac{6250}{2 \times (Df0 - Df25)}$$

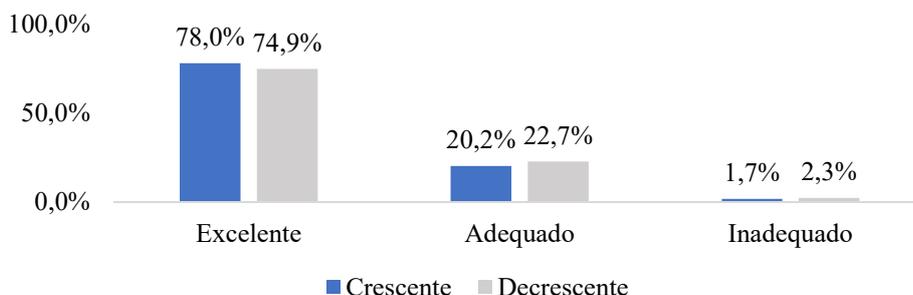
Onde:

- DF0: Deflexão sob o ponto de aplicação de carga;
- DF25: Deflexão a 25 cm do ponto de carga.

Para compreender o comportamento das camadas finais de terraplenagem ou subleito quando solicitados, faz-se a leitura da deflexão a 120 cm do ponto de aplicação de carga (D120), sendo admitidos valores inferiores a 7×10^{-2} mm. Para o projeto, adotou-se como excelentes os resultados inferiores a 5×10^{-2} e adequados aqueles superiores ou iguais a 5×10^{-2} e menores que 7×10^{-2} .

De acordo com o gráfico 3, apesar da rodovia apresentar excelência em praticamente 75% do trecho, observou-se que um grande volume de leituras se enquadra na categoria “adequado”, o que indica um possível defeito ou início de uma patologia nesses pontos.

Gráfico 3: Deflexão existente (120 cm)



Fonte: Do próprio autor

2.1.4. Índice de gravidade global e afundamento de trilhas de rodas

Além dos ensaios de IRI e de deflexão, o DNIT 006/2003 PRO sugere a avaliação objetiva do levantamento de superfície do pavimento existente ou índice de gravidade global IGG. Esta análise contempla a condição superficial a partir da observação de defeitos, e são executadas obedecendo os procedimentos contidos na norma.

Defeitos de superfície listados na norma DNIT 006/2003 PRO

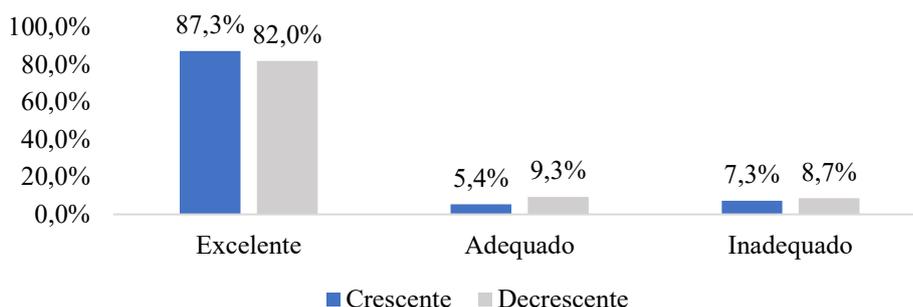
- Trincas Classe 1 (FC-1) - fp 0,2;
- Trincas Classe 2 (FC-2) – fp 0,5;
- Trincas Classe 3 (FC-3) – fp 0,8;
- Afundamento (ALP e ALT) – fp 0,9;
- Ondulação e panelas (O e P) - fp 1,0;
- Exsudação (EX) - fp 0,5;
- Desgaste (D) - fp 0,3;
- Remendos (R) - fp 0,6.

Cada um dos defeitos listados possui um fator de ponderação (fp) que deve ser multiplicado pela frequência relativa, também indicada pela norma DNIT 006/2003 PRO.

Considerando os valores obtidos através da aplicação da norma regulamentadora, e também do horizonte de projeto, foram considerados valores de IGG menores ou iguais a 20 como excelente, os adequados superiores a 20 e menores que 30 e inadequados aqueles que obtiveram valores superiores a 30.

O estudo do IGG existente está apresentado no gráfico 4.

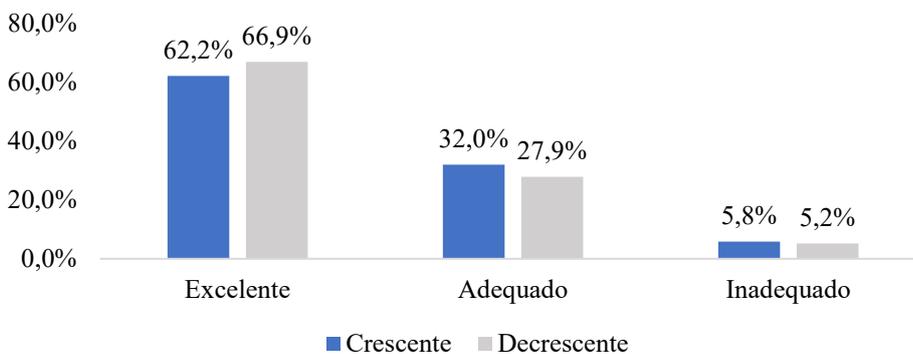
Gráfico 4: IGG existente



Fonte: Do próprio autor

Ainda referente às avaliações superficiais, fez-se o levantamento do afundamento das trilhas de rodas encontradas ao longo do trecho, apresentado no gráfico 5. Para o método, foi utilizado a treliça metálica para realizar as medições, conforme preconiza a norma DNIT 006/2003 PRO. Para o projeto, adotou-se os valores admissíveis para excelentes os afundamentos inferiores ou iguais a 4 mm, as considerados como adequados os valores superiores a 4 mm e até 7 mm, e os inadequados, que interferem diretamente no conforto do usuário, acima de 7 mm.

Gráfico 5: Afundamento de trilhas de roda existente



Fonte: Do próprio autor

2.1.5. Análise de material e estrutura do pavimento existente

Para o DNIT (2006), o aumento da densidade de defeitos em um espaço amostral pode estar diretamente relacionado aos defeitos na estrutura do pavimento que causam comprometimento das camadas superiores. Quando existe a dúvida sobre a trabalhabilidade do material encontrado, a norma sugere ensaios destrutivos e não destrutivos (limites de Atterberg, teor de umidade, espessuras, umidade do material na camada, tipo de material, intrusão do material no subleito nas camadas e sub-base ou base, permeabilidade, capacidade de suporte – CBR, módulo resiliente, características tensão-deformação, teor de asfalto e granulometria) para identificação das características físico-químicas.

Assim, é necessário ter conhecimento sobre a geologia do local onde a rodovia está inserida e quais as soluções de pavimentos foram adotadas inicialmente naquele trecho em específico.

Abaixo na tabela 2, a relação de camadas presente no pavimento da rodovia em estudo. Para essa situação em específico, os dados foram fornecidos pela administradora do trecho e não foram necessários a realização dos ensaios listados.

Tabela 2: Perfil do pavimento e solo

KM		SENTIDO	E (cm)	CAMADA - TIPO DE MATERIAL
INICIAL	FINAL			
111.750	119.000	Oeste	12	Revestimento CBUQ
			13	Solo brita com cimento
			30	Areia argilosa amarela
			60	Areia vermelha
119.000	124.000	Oeste	10	Revestimento CBUQ
			15	Solo brita com cimento
			15	Areia argilosa rosa
			60	Areia vermelha
124.000	129.700	Oeste	13	Revestimento CBUQ
			20	Solo brita com cimento
			30	Areia argilosa vermelha
			60	Areia vermelha
129.700	131.500	Oeste	12	Revestimento CBUQ
			15	Solo brita com cimento
			30	Areia argilosa vermelha

			60	Areia vermelha
131.500	137.000	Oeste	10	Revestimento CBUQ
			15	Solo brita com cimento
			30	Areia argilosa vermelha
			60	Areia vermelha
137.000	143.000	Oeste	10	Revestimento CBUQ
			20	Solo brita com cimento
			20	Areia argilosa vermelha
			60	Areia vermelha
111.750	121.000	Leste	10	Revestimento CBUQ
			18	Solo brita com cimento
			30	Areia argilosa amarela
			60	Areia vermelha
121.000	125.000	Leste	12	Revestimento CBUQ
			15	Solo brita com cimento
			15	Areia argilosa vermelha
			60	Areia vermelha
125.000	127.000	Leste	15	Revestimento CBUQ
			15	Solo brita com cimento
			30	Cascalho quartzo siltoso amarelo
			60	Areia vermelha
127.000	135.500	Leste	15	Revestimento CBUQ
			17	Solo brita com cimento
			18	Areia siltosa vermelha
			60	Areia vermelha
135.500	143.000	Leste	15	Revestimento CBUQ
			20	Solo brita com cimento
			20	Areia argilosa rosa
			60	Areia vermelha
111.750	121.000	Leste	10	Revestimento CBUQ
			18	Solo brita com cimento
			30	Areia argilosa amarela
			60	Areia vermelha
121.000	125.000	Leste	12	Revestimento CBUQ
			15	Solo brita com cimento
			15	Areia argilosa vermelha
			60	areia vermelha
125.000	127.000	Leste	15	Revestimento CBUQ
			15	Solo brita com cimento
			30	Cascalho quartzo siltoso amarelo
			60	Areia vermelha
127.000	135.500	Leste	15	Revestimento CBUQ
			17	Solo brita com cimento
			18	Areia siltosa amarela

			60	Areia vermelha
			15	Revestimento CBUQ
135.500	143.000	Leste	20	Solo brita com cimento
			20	Areia argilosa amarela
			60	Areia vermelha

Fonte: Do próprio autor

2.1.6. Verificação visual do trecho e aspectos locais

Para definição de um segmento homogêneo, além do processo de AASHTO para análise de múltiplos parâmetros (apresentado no próximo tópico), o engenheiro responsável pelo projeto deve levar em consideração aspectos de tráfego locais e características impares em regiões do trecho que permitam a definição da melhor solução atrelada a um método que seja tecnicamente exequível.

Na análise realizada *in-loco*, observou-se que o trecho inserido no perímetro urbano da cidade de Limeira entre os quilômetros 111+750 e 112+500 possui um VDM elevado, porém a moda consiste em veículos leves que utilizam a via para tráfego local. Por tratar-se de um trecho importante para a mobilidade do município, foi levado em consideração que a solução para esse segmento não seja de longo prazo de interdição e que também não seja de reparo profundo, visto que possivelmente exista tubulações subterrâneas de fornecimento de água, transporte de esgoto e de fornecimento de gás GLP.

No restante do trecho foi observado a execução de reparos pesados já realizados pela administradora da rodovia. Observou-se também a implantação tardia de drenos subsuperficiais, pontos de segregação acentuada, trincas com erosão de bordo e bombeamento de finos, o que possivelmente indica a insuficiência da drenagem no local.

2.1.7. Definição de segmentos homogêneos

Tendo realizados todos os levantamentos superficiais, profundos e visuais, é necessário a definição de trechos que possuam as mesmas características para que seja adotada um único tipo de solução.

A definição de segmentos homogêneos leva em consideração o método de diferenças acumuladas analisando múltiplos parâmetros (funcionais e estruturais).

A norma DNER-PRO 269/94 preconiza os seguintes passos para definição:

- Calcular o valor médio de um parâmetro para toda a rodovia;
- Calcular a diferença entre o valor pontual e o valor médio;
- Calcular os valores acumulados das diferenças
- Plotar um gráfico onde as abcissas são as distâncias e as ordenadas, os valores acumulados das diferenças.

Nesse método, verifica-se que na crista da abcissa o segmento muda de característica, ou seja, nesse ponto ocorre o limite entre dois segmentos homogêneos

2.2. Concepção de soluções de restauração de pavimento

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006), informa que a partir dos dados coletados é possível identificar a característica do pavimento existente e pressupor a possível causa da patologia nos segmentos homogêneos apresentados o que leva ao próximo passo, a definição da solução.

No entanto para o projeto de intervenção apresentado e após os dados obtidos, calculou-se o módulo de elasticidade dos materiais do pavimento para definição do coeficiente de Poisson nos segmentos homogêneos definidos anteriormente. Para identificação, utilizou-se do auxílio de um software para elaboração da retroanálise das bacias deflectométricas juntamente com a carga do raio de aplicação e estrutura do pavimento existente. Essa medida foi adotada além de tudo para atender pré-requisitos estabelecidos pelas normas internas da administradora do trecho.

Aplicando a metodologia que preconiza a norma DNER PRO 269/94, e utilizando de todos os dados anteriores foi possível obter as espessuras de cada camada de reconstituição de pavimento danificado.

O próximo passo foi a aplicação do método do DNER PRO 159/85 que auxilia na previsão de uma irregularidade imediatamente após a restauração do pavimento em concreto asfáltico, desse modo é possível definir a espessura do reforço necessária para se diminuir o coeficiente de irregularidade a um patamar aceitável.

Os métodos apresentados indicam a espessura da camada de reforço, desse modo observa-se que em determinados trechos a espessura dessa camada é muito alta e ao analisar os dados deflectométricos é possível identificar desvios nesses pontos onde os valores destoam dos demais. A análise dessa deflexão excessiva indica a necessidade de realizar uma intervenção profunda (reparos profundos).

Ao analisar os reparos profundos dentro dos seus respectivos segmentos homogêneos, identificou-se casos pontuais onde a área de reparo profundo foi superior a 40% da área do segmento homogêneo. Para esses casos em específico, adotou-se a reconstrução total do segmento homogêneo a fim de precaver o aparecimento de futuras patologias estruturais.

2.2.1. Correção funcional

Adotou-se correções funcionais para correção de irregularidades longitudinais por meio de micro fresagem de pavimento quando a espessura do reforço funcional, segundo o DNER 159/85 PRO, for superior ao aumento do greide da camada final asfáltica. Em contrapartida, foi adotada a fresagem e recomposição do pavimento danificado com 4 cm de espessura sobre a porcentagem da área de defeitos estruturais.

Quando a solução adotada foi a micro fresagem, a execução consistiu na realização da fresagem com um tambor de 672 bits na largura total da faixa de rolamento

Para as soluções de fresagens funcionais (espessura menor ou igual a 5cm) ou fresagens estruturais (espessura maior que 5), o método executivo consiste na retirada do material danificado, aplicação da pintura de ligação e a recomposição com aplicação da mistura asfáltica de CBUQ nos padrões da concessionária.

Para as trincas perceptíveis que não resultaram em alterações significativas nos estudos apontados, adotou-se como solução a selagem das trincas com material betuminoso.

2.2.2. Correção estrutural

O reforço adotado foi classificado de acordo com a espessura calculada do reforço (HR), apresentadas na tabela 3.

Para esse projeto, e por solicitação do controle de qualidade da própria administradora do trecho, foi utilizado para realização das misturas asfálticas o CAP modificado com polímero, desse modo, foram realizadas além do cálculo do HR, o valor de HRpol que é deduzido pelos coeficientes apresentados no manual IP.DIN/009 da ARTESP.

Tabela 3 - Solução por espessura de reforço

Espessura de Reforço considerando fator de redução de polímero (cm)	Solução adotada e espessura
$HR_{pol} \leq 1,0$	Micro
$1,0 < HR_{pol} \leq 2,0$	GAP(2,0 cm)
$2,0 < HR_{pol} \leq 2,5$	GAP(2,5 cm)
$2,5 < HR_{pol} \leq 8,0$	HRpol(X cm)
$HR_{pol} > 8,0$	REC

Fonte: Do próprio autor

Pelos cálculos obtidos foi indicado reconstruções e reparos profundos no trecho urbano da cidade de Limeira, entre os quilômetros 111,740 ao 113,000. O trecho apresenta o maior VDM da rodovia e resultaria em complicações para execução e interdição da rodovia. Desse modo, aplicando-se a metodologia DNER PRO-269/94, os reparos foram substituídos por fresagem estruturais com aplicação de geogrelha para estabilização dos defeitos estruturais.

Para os segmentos adotados como solução o micro revestimento, a execução deverá ser realizada com uma camada de 12 mm. Já os segmentos adotados como solução a aplicação do GAP ou HRpol, a execução deverá seguir a espessura definida sob projeto e deverá ser aplicada sobre uma camada de pintura de ligação.

2.2.3. Reparos profundos

Adotou-se a solução de reparo profundo onde os limites para intervenção localizada foram superados. Os reparos deverão conter a largura da faixa de rolamento no ponto localizado e o espaçamento do levantamento de FWD realizado (20 m ou 40 m), podendo esse ser estendido de acordo com os resultados obtidos na passagem da Viga Benkelman em campo.

Foram definidos dois tipos de reconstrução do segmento homogêneo, cada um respeitando as faixas das camadas existentes e levantamentos realizados.

2.2.3.1. Reparo profundo do tipo 1

- Demolição de 50 cm da estrutura do pavimento;
- Regularização da camada de subleito com CBR mínimo de 10%;
- Execução de uma camada de 20 cm de macadame seco;
- Execução de uma camada de 20 cm de brita graduada simples (BGS)
- Imprimação betuminosa impermeabilizante;
- Pintura de ligação;
- Execução da camada de concreto asfáltico atendendo as especificações da concessionária com espessura de 5 cm;
- Pintura de ligação;
- Execução da camada de concreto asfáltico atendendo as especificações da concessionária com espessura de 5 cm;

2.2.3.2. Reparo profundo do tipo 2

- Demolição de 60 cm da estrutura do pavimento;
- Regularização da camada de subleito com CBR mínimo de 10%;
- Execução de uma camada de 30 cm de macadame seco;
- Execução de uma camada de 20 cm de brita graduada simples (BGS)
- Imprimação betuminosa impermeabilizante;
- Pintura de ligação;
- Execução da camada de concreto asfáltico modificado com polímero atendendo as especificações da concessionária com espessura de 5 cm;
- Pintura de ligação;
- Execução da camada de concreto asfáltico modificado com polímero atendendo as especificações da concessionária com espessura de 6 cm;

2.2.4. Reconstruções

Em casos onde a reconstrução localizada foi superior a 40% do segmento homogêneo apresentado, o HRpol calculado foi superior a 8 cm e ainda a vistoria em campo apontou a

necessidade, foi proposta a execução da reconstrução no local. A largura adotada foi a mesma da faixa de rolamento e o espaçamento do comprimento do segmento homogêneo.

Foram definidos dois tipos de reconstrução do segmento homogêneo, cada um respeitando as faixas das camadas existentes e levantamentos realizados.

2.2.4.1. Reconstrução do tipo 1

- Demolição de 50 cm da estrutura do pavimento;
- Regularização da camada de subleito com CBR mínimo de 10%;
- Execução de uma camada de 20 cm de macadame seco;
- Execução de uma camada de 20 cm de brita graduada simples (BGS)
- Imprimação betuminosa impermeabilizante;
- Pintura de ligação;
- Execução da camada de concreto asfáltico atendendo as especificações da concessionária com espessura de 5 cm;
- Pintura de ligação;
- Execução da camada de concreto asfáltico atendendo as especificações da concessionária com espessura de 5 cm;

2.2.4.2. Reconstrução do tipo 2

- Demolição de 60 cm da estrutura do pavimento;
- Regularização da camada de subleito com CBR mínimo de 10%;
- Execução de uma camada de 30 cm de macadame seco;
- Execução de uma camada de 20 cm de brita graduada simples (BGS)
- Imprimação betuminosa impermeabilizante;
- Pintura de ligação;
- Execução da camada de concreto asfáltico modificado com polímero atendendo as especificações da concessionária com espessura de 5 cm;
- Pintura de ligação;
- Execução da camada de concreto asfáltico modificado com polímero atendendo as especificações da concessionária com espessura de 6 cm;

2.2.5. Reparo do acostamento

Foi considerado apenas o nivelamento do acostamento com a camada de pavimento da faixa de rolamento recomposta. A escolha da mistura asfáltica foi definida de modo a não comprometer o sistema de drenagem local, podendo ser aplicados a lama asfáltica ou o pré-misturado a quente.

2.2.6. Drenagem de pavimento

Nos segmentos homogêneos onde o FWD apresentou valores de Df_7 superiores a 7×10^{-2} mm em mais de 20% da extensão, recomenda-se toda a inspeção do sistema de drenagem localizado. Os drenos superficiais, longitudinais e profundos devem seguir a norma regulamentadora da própria administradora do trecho, atendendo os espaçamentos, profundidades e distanciamento do rolamento.

3. RESULTADOS E DISCUÇÃO

Adotadas as premissas para soluções apresentadas anteriormente, os dados obtidos foram transportados para um projeto retigráfico, que consiste na apresentação das soluções em um gráfico que transcreve a rodovia de forma linear e com eixo horizontal (comprimento) que gradua de estaca-a-estaca - 20 metros.

Tendo o comprimento de cada segmento homogêneo e a largura média da faixa, foi possível calcular a quantidade de serviço para cada solução. As quantidades levantadas estão apresentadas na coluna denominada “Projeto” da tabela 4.

Tabela 4: Levantamento de projeto

SOLUÇÃO - COMPOSIÇÃO DE SERVIÇO	UNIDADE	PROJETO
FRESAGEM FUNCIONAL		
Fresagem de pavimento existente	m ³	8.780,10
Imprimadura ligante	m ²	159.637,35
Concreto betuminoso usinado a quente	m ³	8.780,10
FRESAGEM ESTRUTURAL		
Fresagem de pavimento existente	m ³	375,44
Imprimadura ligante	m ²	6.482,25
Concreto betuminoso usinado a quente	m ³	375,44
FRESAGEM COM APLICAÇÃO DE GEOGRELHA		
Fresagem de pavimento existente	m ³	208,80
Imprimadura ligante	m ²	3.888,00
Concreto betuminoso usinado a quente	m ³	208,80
Geogrelha	m ²	2.088,00
MICROFRESAGEM DE PAVIMENTO		
Microfresagem	m ²	14.760,00
MICRO REVESTIMENTO		
Micro revestimento no tronco	m ²	433.243,52
Micro revestimento no dispositivo	m ²	66.185,00
LAMA ASFÁLTICA		
Lama asfáltica no tronco	m ²	131.382,00
Lama asfáltica no dispositivo	m ²	30.580,50
CONCRETO ASFÁLTICO - CAUQ		
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	27.468,20
Concreto betuminoso usinado a quente modificado com polímeros	m ³	1.011,37
GAP GRADED		
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	61.516,11
Gap Graded	m ³	1.262,53
PRÉ MISTURADO A QUENTE - PMQ		
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	11.286,00
Pré misturado a quente	m ³	375,84
RECONSTRUÇÃO		
Remoção de pavimento existente	m ³	864,00
Regularização do subleito	m ²	1.728,00
Macadame seco	m ³	345,60
Brita graduada simples	m ³	345,60
Imprimadura impermeabilizante	m ²	1.728,00
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	3.456,00
Concreto betuminoso usinado a quente modificado com polímeros	m ³	172,80
REPARO PROFUNDO TIPO 1		

Remoção de pavimento existente	m ³	2.268,00
Regularização do subleito	m ²	4.536,00
Macadame seco	m ³	907,20
Brita graduada simples	m ³	907,20
Imprimadura impermeabilizante	m ²	4.536,00
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	9.072,00
Concreto betuminoso usinado a quente modificado com polímeros	m ³	453,60

REPARO PROFUNDO TIPO 2

Remoção de pavimento existente	m ³	1.468,80
Regularização do subleito	m ²	2.448,00
Macadame seco	m ³	734,40
Brita graduada simples	m ³	489,60
Imprimadura impermeabilizante	m ²	2.448,00
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	4.896,00
Concreto betuminoso usinado a quente modificado com polímeros	m ³	244,80

DRENAGEM DE PAVIMENTO

Dreno profundo longitudinal- Ø 4"	m	4.100,00
Dreno transversal profundo - Ø 4"	m	480,00
Boca de saída tipo BSD-2	un	96,00

SELA TRINCA

Sela trinca a quente	m	3.946,00
----------------------	---	----------

Fonte: Do próprio autor

3.1. Licitação para realização do projeto de intervenção

Para realização das atividades levantadas, o projeto foi lançado para proposta de licitação, assim como comumente são realizadas as contratações de construtoras e empreiteiras no sistema de administração pública (DER-SP) e privada (concessionária).

O tipo de contrato proposto pela administração do trecho foi a contratação na modalidade de empreitada por preços unitários, que consiste na apresentação de uma proposta composta de um valor unitário para cada tipo serviço, desse modo qualquer alteração de projeto para mais ou para menos é pago pela multiplicação da quantidade pelo seu respectivo preço.

A empresa vencedora da licitação apresentou uma proposta no valor de R\$ 30.063.944,74 para realização de todos os serviços.

Os preços unitários foram obtidos com base na tabela de composições unitárias disponibilizada pelo Departamento de Estradas e Rodagens. O preço final resulta da somatória de todos os insumos para realização das atividades (materiais, equipamentos e mão de obra),

assim como o benefício de despesas indiretas – BDI, que acrescenta ao valor as despesas administrativas, impostos e encargos, seguros, garantias, margem de incerteza e margem de contribuição.

3.2. Execução e “*as built*”

A elaboração de um projeto de intervenção, conforme apresentado anteriormente, baseia-se em dados estatísticos e cruzamento de informações levantadas para definição de uma hipótese de como encontra-se o grau de deterioração do pavimento existente. Entretanto, durante a execução de um projeto em campo deve haver um responsável pela execução, comumente supervisionado pelo responsável técnico do projeto, que realiza a análise *in-loco* e através de ensaios deflectométricos das camadas inferiores do pavimento e ensaios do solo após a abertura das caixas que comprovam a real situação do pavimento.

As atividades foram iniciadas em 11 de junho de 2019 e concluídas em 24 de setembro de 2019, e durante a execução foram realizadas alterações de projeto, sempre supervisionadas pelo projetista, que resultou em um real executado, ou *As Built* apresentado na tabela 5.

Tabela 5: *As Built*

SOLUÇÃO - COMPOSIÇÃO DE SERVIÇO	UNIDADE	AS BUILT
FRESAGEM FUNCIONAL		
Fresagem de pavimento existente	m ³	6.875,93
Imprimadura ligante	m ²	152.413,10
Concreto betuminoso usinado a quente	m ³	6.851,44
FRESAGEM ESTRUTURAL		
Fresagem de pavimento existente	m ³	515,10
Imprimadura ligante	m ²	9.199,58
Concreto betuminoso usinado a quente	m ³	515,04
FRESAGEM COM APLICAÇÃO DE GEOGRELHA		
Fresagem de pavimento existente	m ³	225,12
Imprimadura ligante	m ²	3.770,00
Concreto betuminoso usinado a quente	m ³	225,12
Geogrelha	m ²	1.885,00
MICROFRESAGEM DE PAVIMENTO		
Microfresagem	m ²	33.242,60
MICRO REVESTIMENTO		
Micro revestimento no tronco	m ²	456.628,37
Micro revestimento no dispositivo	m ²	77.163,96

LAMA ASFÁLTICA

Lama asfáltica no tronco	m ²	107.655,25
Lama asfáltica no dispositivo	m ²	2.345,20

CONCRETO ASFÁLTICO - CAUQ

Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	-
Concreto betuminoso usinado a quente modificado com polímeros	m ³	-

GAP GRADED

Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	71.016,20
Gap Graded	m ³	1.695,50

PRÉ MISTURADO A QUENTE - PMQ

Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	4.734,93
Pré misturado a quente	m ³	164,71

RECONSTRUÇÃO

Remoção de pavimento existente	m ³	246,67
Regularização do subleito	m ²	-
Macadame seco	m ³	-
Brita graduada simples	m ³	-
Imprimadura impermeabilizante	m ²	-
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	1.728,00
Concreto betuminoso usinado a quente modificado com polímeros	m ³	246,67

REPARO PROFUNDO TIPO 1

Remoção de pavimento existente	m ³	586,90
Regularização do subleito	m ²	-
Macadame seco	m ³	-
Brita graduada simples	m ³	-
Imprimadura impermeabilizante	m ²	-
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	9.032,35
Concreto betuminoso usinado a quente modificado com polímeros	m ³	586,90

REPARO PROFUNDO TIPO 2

Remoção de pavimento existente	m ³	391,37
Regularização do subleito	m ²	-
Macadame seco	m ³	-
Brita graduada simples	m ³	-
Imprimadura impermeabilizante	m ²	-
Imprimadura ligante modificada por polímeros	m ²	5.641,48
Concreto betuminoso usinado a quente modificado com polímeros	m ³	516,21

DRENAGEM DE PAVIMENTO

Dreno profundo longitudinal- Ø 4"	m	458,80
Dreno transversal profundo - Ø 4"	m	367,50
Boca de saída tipo BSD-2	un	22,00

SELA TRINCA

Sela trinca a quente	m	569,70
----------------------	---	--------

Fonte: Do próprio autor

Por se tratar de contratação por preços unitários, foi possível o remanejamento em alguns serviços após a análise realizada em campo, foi possível reduzir o valor executivo do projeto para R\$ 25.146.802,67.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que a elaboração de um projeto de intervenção de manutenção corretiva em uma rodovia com camada superficial flexível leva em consideração dados estatísticos e visuais como indicadores do estado do pavimento, em contrapartida percebe-se que as alterações de projeto ao longo da execução são válidas, visto que análises destrutivas realizadas durante a execução das atividades podem evitar superdimensionamentos.

Para este estudo prático e de acordo com as características apresentadas desta rodovia asfáltica, as adoções das soluções foram calculadas para um período de projeto de sete anos, desse modo compreende-se que o valor estimado para sanar as patologias e que essas sejam mantidas ao longo deste horizonte será de R\$ 30.063.944,74, o que condiz com um valor de R\$ 4.294.849,24 por ano até o próximo período de intervenção.

Conforme apresentado, o investimento para manutenções em rodovias possui um alto custo, assim quaisquer alternativas que visam a diminuição destes gastos são bem-vindas e, para o estudo apresentado, pode-se concluir que as análises pós projeto foram fundamentais para redução destes custos, o que representa uma diminuição de R\$ 4.917.142,07, ou 16,35% de redução em comparação ao projeto inicial.

Esses valores referem-se à execução de uma intervenção para um horizonte estimado, porém além deste investimento, ao longo desse período ocorrerão outras manutenções extraordinárias para manter o pavimento em perfeitas condições de conforto e segurança para os usuários.

REFERÊNCIAS

AGENCIA DE TRANSPORTES DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual Instrução de Projeto DIN/009**. Rev 00. São Paulo, p. 13. 2013

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-ME 024/94**. Determinação das deflexões pela viga Benkelman, Rio de Janeiro, 1994

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-PRO 010/79**. Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – Volume 1, Rio de Janeiro, 1979

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-PRO 011/79**. Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, Rio de Janeiro, 1979

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-PRO 159/85**. Restauração de pavimentos semi-rígidos. Rio de Janeiro, 1985

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-PRO 175/94**. Aferição de viga Benkelman, Rio de Janeiro, 1994

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-PRO 169/94**. Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECPAV, Rio de Janeiro, 1994

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 006/2003 - PRO**. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT Manual de pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006

RIBEIRO, T. P. **Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ed. 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, 2017