SOLIDIPLAN
ENGENHARIA

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DEFLEXÃO DE PAVIMENTO FLEXIVÉL PELO MÉTODO DE VIGA BENKELMAN

MARINGÁ – 2024

(44) 3040-1840
contato@solidiplan.com.br
Av. Prudente de Morais, nº 601
Mezanino - Zona 07 - Maringá/PR

SOLIDIPLAN
ENGENHARIA

1. INTRODUÇÃO

O presente memorial tem como objetivo apresentar as metodologias e resultados dos estudos realizados no Município de Cornélio Procópio – PR.

Os serviços aqui apresentados têm como objetivo avaliar as deflexões da estrutura do pavimento flexível na Rua Bahia, Rua Emílio de Menezes e Rua Amazonas no Município de Cornélio Procópio - PR, por método não-destrutivo por intermédio da VIGA BENKELMAN, solicitado pela Prefeitura Municipal.

Todo o procedimento foi desenvolvido através das normas vigentes:

- DNER-ME 024/94
- DNER-PRO 175/94
- DNER-PRO 011/79

A execução é feita através de um aparelho (Viga) dotado de um extensômetro com precisão de 0,001mm que mede a deflexão do pavimento sob um eixo de rodado duplo, carregado simetricamente e distribuído sobre o eixo traseiro 8,2tf de carga. A localização dos pontos a serem avaliados seguirá de acordo com a normativa DNER-ME 024/94, equidistantes a 20 metros entre os pontos, em cada faixa de rodagem da via.

Na tabela 01 é indicado onde foi realizado o estudo com a Viga Benkelman. Para critério de mapeamento dos trechos ensaiados e parâmetro de tráfego, cada segmento das vias urbanas foi dividido da seguinte forma:

Tabela 01 – Trechos e Parâmetros de Tráfego

TRECHO	SUB-TRECHO CORRESPONDENTE	PARÂMETROS DE TRÁFEGO N
1	Rua Bahia	N 10^5
2	Rua Emílio de Menezes	N 10^5
2	Rua Amazonas	N 10^6

(44) 3040-1840
contato@solidiplan.com.br
Av. Prudente de Morais, nº 601
Mezanino - Zona 07 - Maringá/PR

2. PROJETO

Um pavimento em serviço é avaliado com a finalidade de fornecer informações necessárias para que se possa programar ou prever sua manutenção e conservação e fornecer dados ao projeto de reforço. Em se tratando de restauração, o projeto se desenvolve em duas etapas:

- A identificação das patologias das rodovias e as deficiências da estrutura;
- A solução de restauração, de tal forma que as deficiências da estrutura possam ser restabelecidas, no mínimo durante o período de projeto.

Para tanto, é realizada uma avaliação do estado em que se encontra a estrutura analisada levando em consideração a ação do tráfego, dos fatores climáticos e do meio ambiente.

Esta avaliação consiste na análise de suas condições quanto ao aspecto estrutural. A condição estrutural está relacionada à capacidade de suporte do pavimento, abrangendo as características de resistência e deformabilidade das camadas do pavimento e do subleito sob a ação das cargas atuantes.

Para fins de análise acerca da solução a ser adotada, o procedimento de avaliação consiste, em essência, no confronto das deflexões medidas no pavimento existente (avaliação estrutural), com valores máximos admissíveis obtidos a partir do tráfego previsto, e na determinação da espessura do reforço a ser aplicado, se necessário, para reduzir as deflexões aos níveis máximos admissíveis, conforme preconizado pelas normas.

Revestimento

É a camada final do pavimento, fica na superfície e recebe diretamente a ação do tráfego, tem como função melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste.

Revestimento em C.A.U.Q.

É importante que os revestimentos sejam adequadamente compactados durante a construção, evitando-se defeitos posteriores como afundamento nas trilhas de rodas, desagregação e deterioração devido ao excesso de infiltração de água. É necessário cuidado na fixação da espessura do revestimento, pois representa a camada de maior custo unitário, com grande margem de diferença em relação às demais.

Coeficientes de equivalência estrutural – k

Os coeficientes de equivalência estrutural considerados para cada camada do pavimento, de acordo com o tipo de material empregado, são indicados na Tabela 02.

Tabela 02 - Coeficiente de equivalência estrutural

COMPONENTES DO PAVIMENTO	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
CAMADAS GRANULARES	**1,00**
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fator Climático Regional

Tabela 03 – Fator de Clima

ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO ANUAL (mm)	FATOR CLIMÁTICO REGIONAL (FR)
ATÉ 800	0,7
DE 800 A 1.500	1,4
MAIS QUE 1.500	1,8

O índice pluviométrico anual para o Município de Cornélio Procópio é de 1.500 mm.

3. RELATÓRIOS

A seguir, serão apresentados todos os resultados obtidos através dos ensaios *in loco.*

(44) 3040-1840
contato@solidiplan.com.br
Av. Prudente de Morais, nº 601
Mezanino - Zona 07 - Maringá/PR

SOLIDIPLAN ENGENHARIA

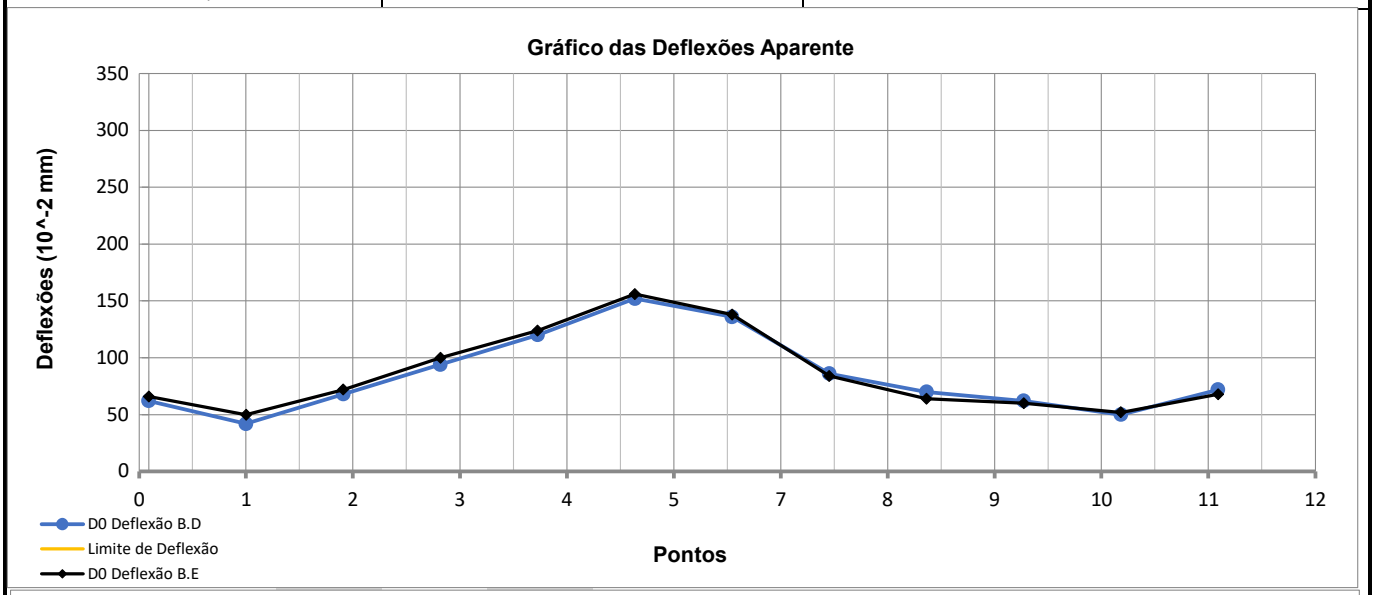
Registro/Resultado de medida de deflexão
Viga Benkelman

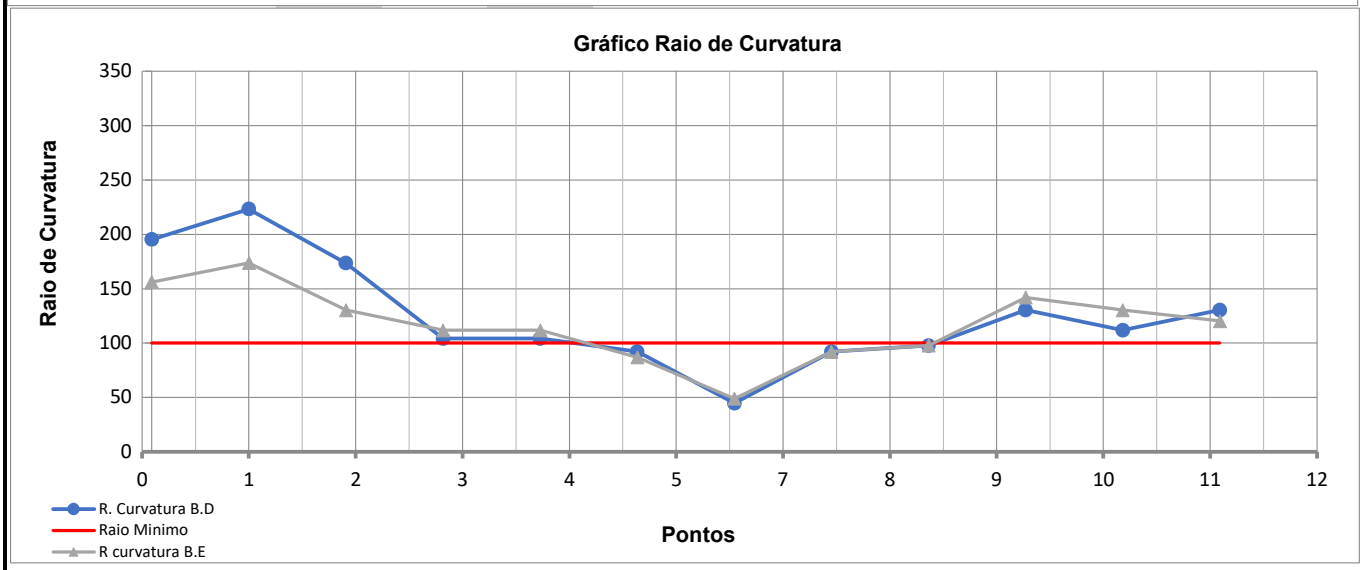
MUNICIPIO:	**CORNÉLIO PROCÓPIO - PR**	**N° REGISTRO:**	*1*
TRECHO:	**RUA BAHIA E RUA EMÍLIO DE MENEZES**	**DATA:**	**16/10/2024**
SUB-TRECHO:	**RUA PAULA GOMES Á AVENIDA XV DE NOVEMBRO**	**CAMADA:**	**CAUQ**
SEGMENTO:	*1*		
K:	*2,000*	***DEFLEXÃO:***	10^{-2} *mm*
		NORMA:	**DNIT-ME 024/94**

	BORDO DIREITO				***BORDO ESQUERDO***				
ESTª	**Lf**	**D0 Deflexão B.D**	**L25**	**R. Curvatura B.D**	**Lf**	**D0 Deflexão B.E**	**L25**	**R curvatura B.E**	**OBS.**
0	*31*	***62***	*8*	***195***	*33*	***66***	*10*	***156***	
1	*21*	***42***	*7*	***223***	*25*	***50***	*9*	***174***	
2	*34*	***68***	*9*	***174***	*36*	***72***	*12*	***130***	
3	*47*	***94***	*15*	***104***	*50*	***100***	*14*	***112***	
4	*60*	***120***	*15*	***104***	*62*	***124***	*14*	***112***	***BUEIRO***
5	*76*	***152***	*17*	***92***	*78*	***156***	*18*	***87***	***AFUNDAMENTO***
6	*68*	***136***	*35*	***45***	*69*	***138***	*32*	***49***	
7	*43*	***86***	*17*	***92***	*42*	***84***	*17*	***92***	
8	*35*	***70***	*16*	***98***	*32*	***64***	*16*	***98***	
9	*31*	***62***	*12*	***130***	*30*	***60***	*11*	***142***	
10	*25*	***50***	*14*	***112***	*26*	***52***	*12*	***130***	
11	*36*	***72***	*12*	***130***	*34*	***68***	*13*	***120***	

Registro/Resultado de medida de deflexão
Viga Benkelman

MUNICIPIO:	**CORNÉLIO PROCÓPIO - PR**		**N° REGISTR** *1*
TRECHO:	**RUA BAHIA E RUA EMÍLIO DE MENEZES**		**DATA:** 16/10/2024
SUB-TRECHO:	**RUA PAULA GOMES Á AVENIDA XV DE NOVEMBRO**		**CAMADA:** CAUQ
SEGMENTO:	1		
K:	*2,000*	***DEFLEXÃO:***	10^{-2} *mm* **NORMA:** DNIT-ME 024/94





D0= (L0-Lf)*const. Viga

D25=(L25-Lf)*const. Viga

Rcurvatura=6,25/2*(D0-D25)

APROVAÇÃO DO(S) RESULTADO(S)

RESPONS. PELO ENSAIO:

RESPONS. PELA APROVAÇÃO: N° RNC:

OBSERVAÇÃO: PREENCHER NA COLUNA DE COR

SOLIDIPLAN ENGENHARIA

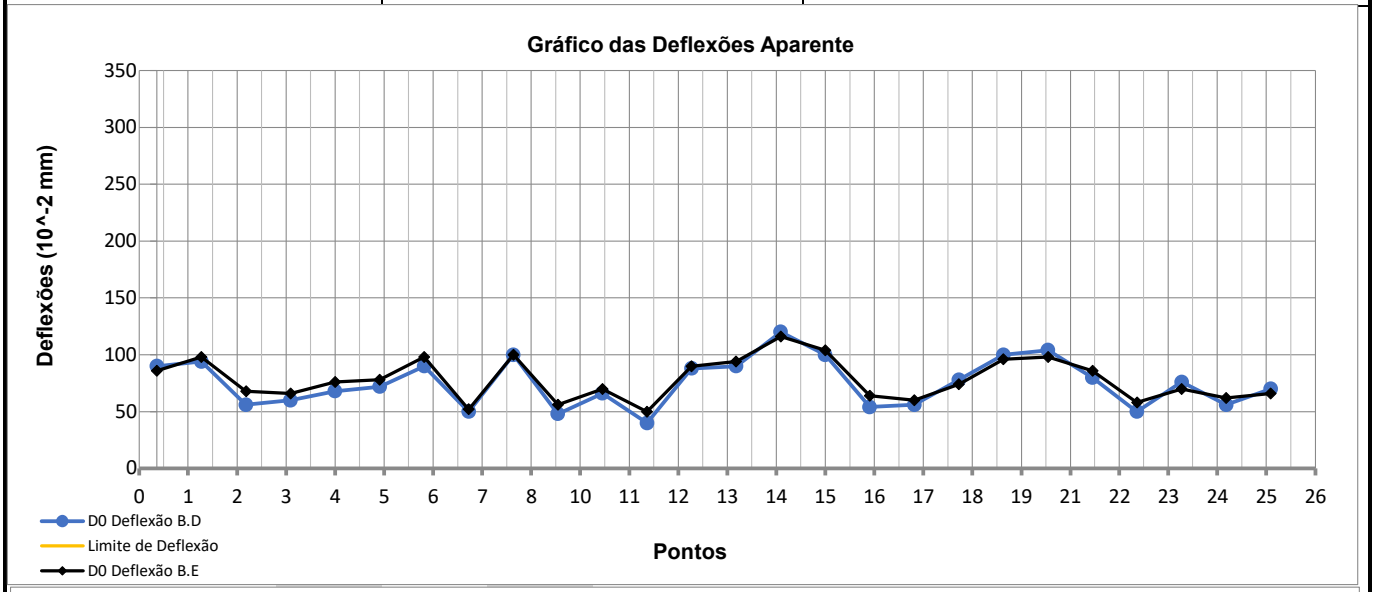
Registro/Resultado de medida de deflexão
Viga Benkelman

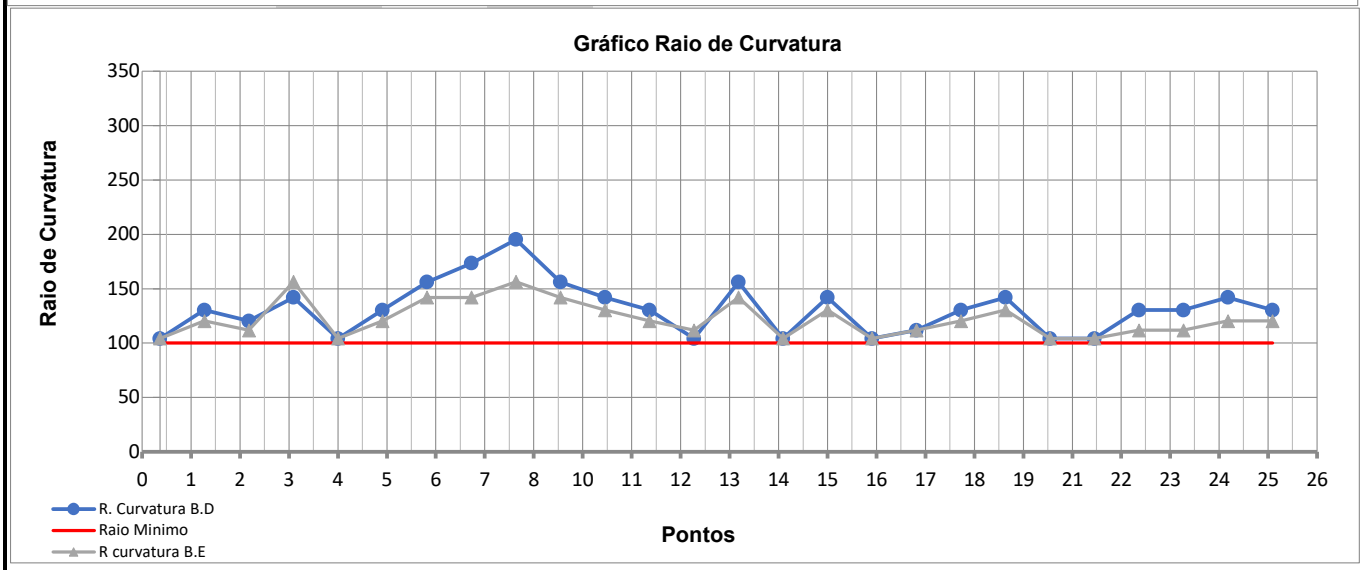
MUNICIPIO:	**CORNÉLIO PROCÓPIO - PR**	**N° REGISTRO:**	***2***
TRECHO:	**RUA AMAZONAS**	**DATA:**	**16/10/2024**
SUB-TRECHO:	**RUA JOSÉ ARREBOLLA Á RUA BENJAMIN CONSTANT**	**CAMADA:**	**CAUQ**
SEGMENTO:	***2***		
K:	***2,000***	***DEFLEXÃO:***	***10^{-2} mm***
		NORMA:	**DNIT-ME 024/94**

	BORDO DIREITO				***BORDO ESQUERDO***				
ESTª	**Lf**	**D0 Deflexão B.D**	**L25**	**R. Curvatura B.D**	**Lf**	**D0 Deflexão B.E**	**L25**	**R curvatura B.E**	**OBS.**
0	*45*	***90***	*15*	***104***	*43*	***86***	*15*	***104***	
1	*47*	***94***	*12*	***130***	*49*	***98***	*13*	***120***	
2	*28*	***56***	*13*	***120***	*34*	***68***	*14*	***112***	
3	*30*	***60***	*11*	***142***	*33*	***66***	*10*	***156***	
4	*34*	***68***	*15*	***104***	*38*	***76***	*15*	***104***	
5	*36*	***72***	*12*	***130***	*39*	***78***	*13*	***120***	
6	*45*	***90***	*10*	***156***	*49*	***98***	*11*	***142***	
7	*25*	***50***	*9*	***174***	*26*	***52***	*11*	***142***	
8	*50*	***100***	*8*	***195***	*50*	***100***	*10*	***156***	
9	*24*	***48***	*10*	***156***	*28*	***56***	*11*	***142***	
10	*33*	***66***	*11*	***142***	*35*	***70***	*12*	***130***	
11	*20*	***40***	*12*	***130***	*25*	***50***	*13*	***120***	
12	*44*	***88***	*15*	***104***	*45*	***90***	*14*	***112***	
13	*45*	***90***	*10*	***156***	*47*	***94***	*11*	***142***	
14	*60*	***120***	*15*	***104***	*58*	***116***	*15*	***104***	
15	*50*	***100***	*11*	***142***	*52*	***104***	*12*	***130***	
16	*27*	***54***	*15*	***104***	*32*	***64***	*15*	***104***	
17	*28*	***56***	*14*	***112***	*30*	***60***	*14*	***112***	
18	*39*	***78***	*12*	***130***	*37*	***74***	*13*	***120***	
19	*50*	***100***	*11*	***142***	*48*	***96***	*12*	***130***	
20	*52*	***104***	*15*	***104***	*49*	***98***	*15*	***104***	
21	*40*	***80***	*15*	***104***	*43*	***86***	*15*	***104***	
22	*25*	***50***	*12*	***130***	*29*	***58***	*14*	***112***	
23	*38*	***76***	*12*	***130***	*35*	***70***	*14*	***112***	
24	*28*	***56***	*11*	***142***	*31*	***62***	*13*	***120***	
25	*35*	***70***	*12*	***130***	*33*	***66***	*13*	***120***	

Registro/Resultado de medida de deflexão
Viga Benkelman

MUNICIPIO:	**CORNÉLIO PROCÓPIO - PR**		**N° REGISTR** *2*
TRECHO:	**RUA AMAZONAS**		**DATA:** **16/10/2024**
SUB-TRECHO:	**RUA JOSÉ ARREBOLLA Á RUA BENJAMIN CONSTANT**		**CAMADA:** **CAUQ**
SEGMENTO:	**2**		
K:	***2,000***	***DEFLEXÃO:*** ***10^{-2} mm***	**NORMA:** **DNIT-ME 024/94**





D0= (L0-Lf)*const. Viga

D25=(L25-Lf)*const. Viga

Rcurvatura=6,25/2*(D0-D25)

APROVAÇÃO DO(S) RESULTADO(S)

RESPONS. PELO ENSAIO:

RESPONS. PELA APROVAÇÃO: N° RNC:

OBSERVAÇÃO: PREENCHER NA COLUNA DE COR

Correção Sazonal (F_s)

Natureza do Subleito	Fator de Correção Sazonal - F_s	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,10 - 1,30	1,00
Argiloso e Sensível à Umidade	**1,20 - 1,40**	1,00

Deflexão Admissível (D_{adm})

A deflexão admissível é a deflexão que um pavimento pode apresentar para suportar uma carga de tráfego conhecida ou projetada antes de entrar na fase de fadiga. Para pavimentos flexíveis constituídos de concreto betuminoso executado sobre base granular, o valor admissível é dado pela seguinte expressão:

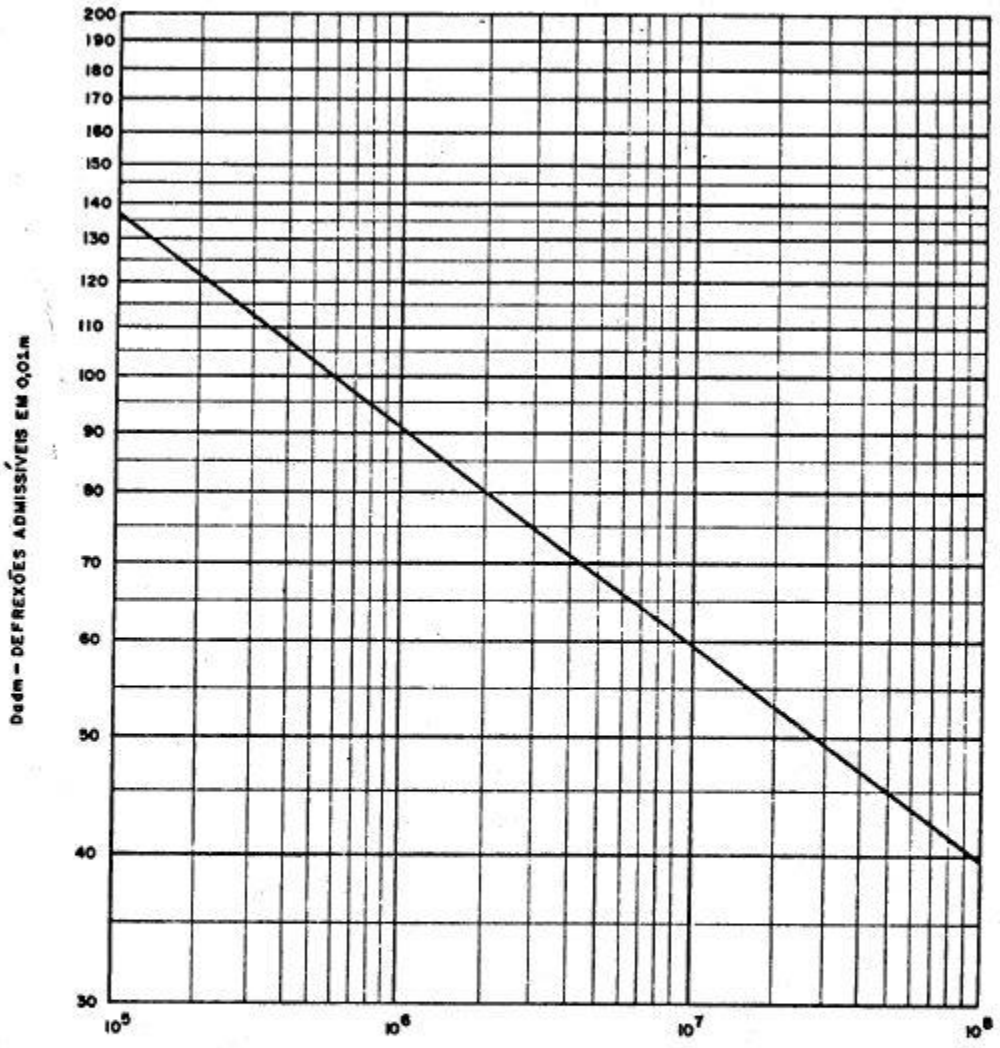
Norma Rodoviária	Equação de Fadiga
DNER-PRO 11/79 - PROC. B	$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \times \log N$

(44) 3040-1840
contato@solidiplan.com.br
Av. Prudente de Morais, nº 601
Mezanino - Zona 07 - Maringá/PR

SOLIDIPLAN
ENGENHARIA

DEFLEXÃO ADMISSÍVEL PARA CONCRETO BETUMINOSO

(DEFLEXÕES MEDIDAS COM CARGA POR EIXO DE 8,2 t)



$$\log Dadm = 3{,}01 - 0{,}175 \log N$$

N	Dadm
10^5	135
10^6	90
10^7	60
10^8	40

FIG. 4

(44) 3040-1840
contato@solidiplan.com.br
Av. Prudente de Morais, nº 601
Mezanino - Zona 07 - Maringá/PR

O quadro a seguir apresenta os critérios para a avaliação estrutural segundo a normativa DNER-PRO 11/79 PROC. B

DNER-PRO 11/79 PROC. B					
Hipótese	**Dados obtidos**	**Qualidade Estrutural**	**Necessidade de estudos complementares**	**Critério para cálculo de reforço**	**Medidas corretivas**
I	Dp ≤ Dadm R ≥ 100	BOA	NÃO		Apenas correções de superfície
II	Dp > Dadm R ≥ 100	Se Dp ≤ 3 Dadm REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se Dp > 3 Dadm MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	Dp ≤ Dadm R < 100	REGULAR PARA MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	Dp > Dadm R < 100	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	-	MÁ O pavimento apresenta deformação permanente generalizada.	SIM	Resistência	Reconstrução

Espessura Mínima de Revestimento Asfáltico

Em função do número N calculado a espessura mínima para o revestimento do pavimento será de 4,00cm, conforme parâmetros apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 – Espessura mínima de revestimento asfáltico

Número N	Espessura mínima de revestimento asfáltico
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5*10^6$	Concreto betuminoso com 5,00cm de espessura
$5*10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,50cm de espessura
$10^7 < N \leq 5*10^7$	Concreto betuminoso com 10,00cm de espessura
$N > 5*10^7$	Concreto betuminoso com 12,50cm de espessura

Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

SOLIDIPLAN
ENGENHARIA

ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DE REFORÇO DO PAVIMENTO EM CONCRETO BETUMINOSO

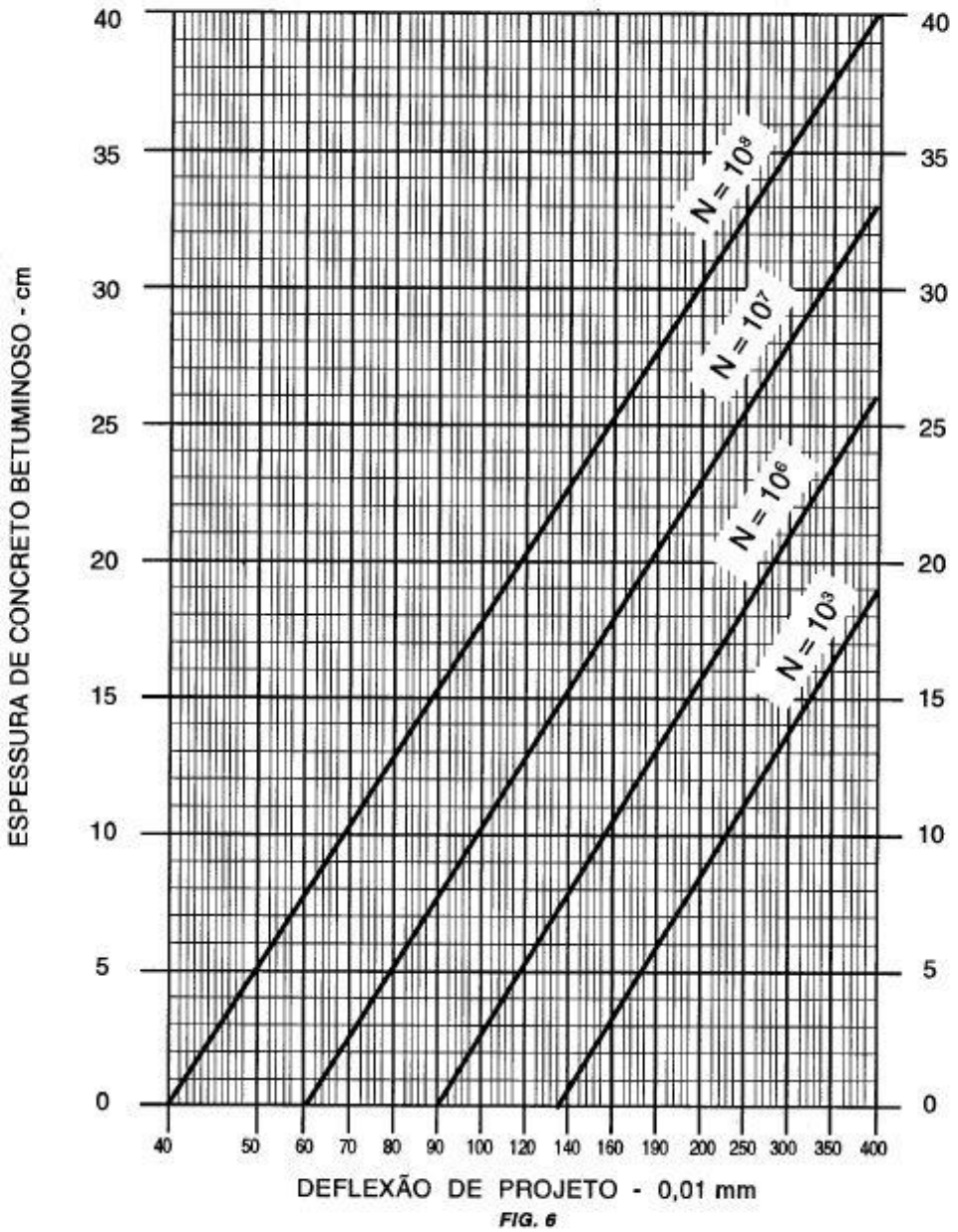


FIG. 6

(44) 3040-1840
contato@solidiplan.com.br
Av. Prudente de Morais, nº 601
Mezanino - Zona 07 - Maringá/PR

Quadro Resumo da Estrutura do Pavimento

Tabela 05 – Quadro resumo da estrutura do pavimento – Rua Bahia, Rua Emílio de Menezes e Rua Amazonas

Camadas do Pavimento	Espessura Adotada	Material
Capa	4,0cm	CAUQ faixa “C”
Pintura de ligação	0,5 l/m²	Emulsão asfáltica RR-1C

4. ESPECIFICAÇÕES E RECOMENDAÇÕES EXECUTIVAS

Limpeza do pavimento e preparo da superfície

Antes dos serviços de restauração, a superfície do pavimento a ser restaurada deverá apresentar-se limpa, isenta de pó ou outras substâncias prejudiciais. A varredura deverá ser procedida através de vassoura mecânica ou equipamento similar, enquanto que a lavagem deverá ser efetuada por meio de caminhão pipa equipada de mangueira d’água de alta pressão.

Previamente à aplicação da mistura asfáltica, faz-se necessária também a correção de defeitos existente, tais como a remoção e reposição das pedras irregulares (no caso de restauração sobre pedra irregular).

Pintura de Ligação RR-1C

Pintura de ligação: é a pintura asfáltica executada com a função básica de promover a aderência ou ligação da superfície da camada pintada com a camada asfáltica a ser sobreposta. É aplicável em camadas de base, em camadas de ligação ou intermediárias de duas ou mais camadas asfálticas na construção de pavimentos flexíveis e ainda, sobre antigos revestimentos asfálticos, previamente à execução de um reforço, recapeamento e rejuvenescimento superficial com lama asfáltica, micro revestimento e reperfilagens com misturas asfálticas a quente.

Este serviço deve ser executado de acordo com as especificações de serviço DER/PR ES-P 17/17 – PAVIMENTAÇÃO: PINTURAS ASFÁLTICAS

Revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente

Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ): é uma mistura asfáltica executada em usina apropriada, composta de agregados minerais e cimento asfáltico de petróleo, espalhada e comprimida a quente.

De acordo com a posição relativa e a função na estrutura, a mistura de concreto asfáltico deve atender as características especiais em sua formulação, recebendo geralmente as designações a seguir apresentadas.

- Camada de rolamento ou simplesmente "capa asfáltica": camada superior da estrutura destinada a receber diretamente a ação do tráfego. A mistura empregada deve apresentar estabilidade e flexibilidade compatível com o funcionamento elástico da estrutura e condições de rugosidade que proporcionem segurança ao tráfego. A este respeito, observar as recomendações contidas no Manual de Execução do DER/PR;
- Camada de ligação ou "binder": camada posicionada imediatamente abaixo da "capa". Apresenta, em relação à mistura utilizada para camada de rolamento, diferenças de comportamento, decorrentes do emprego de agregado de maior diâmetro máximo, existência de maior percentagem de vazios, menor consumo de "filler" (quando previsto) e de ligante;
- Camada de nivelamento ou "reperfilagem": serviço executado com massa asfáltica de graduação fina, com a função de corrigir deformações ocorrentes na superfície de um antigo revestimento e, simultaneamente, promover a selagem de fissuras existentes.

Este serviço deve ser executado de acordo com as especificações de serviço DER/PR ES-P 21/17 – PAVIMENTAÇÃO: CONCRETO ASFÁLTICO USINADO À QUENTE.

5. CONTROLE TECNOLÓGICO DAS OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Pintura de Ligação RR-1C

Deverá ser realizado na obra o controle dos materiais e da execução das camadas de Pintura de Ligação conforme descrito abaixo:

Materiais

- O ligante betuminoso deverá ser examinado em laboratório, obedecendo a metodologia indicada pelo DNER e satisfazer as especificações em vigor. Para todo carregamento que chegar à obra deverão ser executados os seguintes ensaios da emulsão:
- Ensaio de Viscosidade “Saybolt-Furol” a 50 ºC (DNER-ME 004);
- Ensaio de Viscosidade “Saybolt-Furol” a 50 ºC (DNER-ME 004) a diferentes temperaturas para estabelecimento de relação viscosidade x temperatura;
- Ensaio de resíduo por evaporação (ABNT NBR 6568);
- Ensaio de peneiramento (DNER-ME 005);
- Ensaio de carga de partícula (DNER-ME 002);
- Deverá ser executado ensaio de sedimentação para emulsão, para cada 100 t (DNER-ME 006);

Execução

- Temperatura

A temperatura do ligante betuminoso deve ser medida no caminhão distribuidor, imediatamente antes da aplicação, afim de verificar se satisfaz o intervalo de temperatura definido pela relação viscosidade x temperatura.

- Taxa de Aplicação (T)

O controle da quantidade do ligante asfáltico aplicado deve ser efetuado aleatoriamente, mediante a colocação de bandejas de peso e área conhecidos, na

pista onde está sendo feita a aplicação. Por intermédio de pesagens, após a passagem do carro distribuidor, tem-se a quantidade de ligante aplicada (taxa de aplicação – T).

Para trechos de pintura de ligação de extensão limitada, ou com necessidade de liberação imediata, com área de no máximo 4000 m², deverão ser feitas cinco determinações para o controle.

Revestimento

Deve ser executado o controle tecnológico com no mínimo os ensaios abaixo especificados.

- Ensaio MARSHALL – apresentar projeto especificações da massa antes de iniciar o revestimento;
- Extração de amostra do revestimento – DNIT (ME138/94) e (053/94) – CAUQ mínimo duas amostras por rua (determinar a espessura da amostra, resistência à tração por compressão diametral e teor de betumes);
- Verificar a temperatura da mistura, para todas as cargas, no momento da distribuição na pista e rolagem. A temperatura da mistura não deve ser inferior a 120ºC. DER (ES-P 21-05 CAUQ). Todo laudo técnico deverá vir acompanhado de ART, conforme estabelece o CREA-PR.

Qualquer outro teste ou análise de especificação de materiais e serviços, poderá ser solicitado pela Fiscalização Municipal ou pelo Órgão fiscalizador, no momento que julgarem necessário, para o acompanhamento da obra e avaliação de aceitação dos serviços.

A empresa executora das obras deverá realizar todos os ensaios de controle tecnológico dos materiais e execução dos serviços de pavimentação asfáltica e apresentar os laudos com os resultados para medição e aceitação dos serviços.

SOLIDIPLAN
ENGENHARIA

6. ANÁLISES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A deflexão admissível é a deflexão que um pavimento pode apresentar para suportar uma carga de tráfego, conhecida ou projetada antes de entrar na fase de fadiga. Para pavimentos flexíveis constituídos de concreto betuminoso executado sobre base granular.

Todos os dados apresentados seguiram rigorosamente os processos de execução descritos das normas DNER-ME 024/94 e DNER-PRO 175/94, fatos a serem comprovados pelo relatório fotográfico e certificado de calibração do equipamento.

Avaliação Estrutural

Para a Avaliação Estrutural do pavimento betuminoso fez-se o uso da TABELA III – Critérios para Avaliação Estrutural, página 13 da normativa DNER-PRO 011/79.

Através dos dados coletados do teste de deflexão e comparando com os critérios impostos pela norma, todo o trecho levantado se encaixa nas hipóteses I, II, III, conforme especificado em relatório destacando os pontos de remendo profundo (reconstrução) a ser executado antes do recape.

FABIANO MATIAS:00911339981

Assinado de forma digital por FABIANO MATIAS:00911339981
Dados: 2024.11.12 11:09:54 -03'00'

SOLIDIPLAN ENGENHARIA LTDA
CNPJ: 13.248.873/0001-60
FABIANO MATIAS
CREA - PR 151615/D