

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura
DPP – Diretoria de Planejamento e Pesquisa
CGPLAN – Coordenação Geral de Planejamento e
Programação de Investimentos

Relatório Técnico –Catálogo de Soluções de Manutenção para Pavimentos Flexíveis

Relatório RT-002/2014

Revisão 03

Elaborado por:

Consórcio Dynatest Engemap

Contrato 0000366/2012

Março de 2015

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	1
2. SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS (SGP)	1
2.1 BREVE HISTÓRICO DE SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTO NO BRASIL	2
2.2 ASPECTOS RELEVANTES DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	3
2.3 ATUAL SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS DO DNIT	3
2.4 REMODELAGEM DO SGP EM DESENVOLVIMENOT	8
3. CATÁLOGO DE SOLUÇÕES.....	8
a) Parâmetros de Tráfego	9
b) Parâmetros Estruturais (Dados Deflectométricos)	15
c) Parâmetros Funcionais	21
e) Catálogo de Solução do DNIT	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Tela de dados disponíveis de levantamentos	4
Figura 2 – Tela de segmentação homogênea.....	5
Figura 3 – Tela de segmentação do SNV.....	6
Figura 4 – Modelo de Relatório	7
Figura 5 - Células do Catálogo de Soluções do DNIT	23
Figura 6 - Catálogo de Soluções do DNIT	31
Figura 7 - Catálogo de Soluções de Pavimentação do DNIT.....	35
Figura 8 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 1	36
Figura 9 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 2	37
Figura 10 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT – Cenário3	38
Figura 11 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 4	39
Figura 12 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 5	40
Figura 13 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 6	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Equações para cálculo do Fator de Equivalência pelos métodos USACE e AASHTO	9
Tabela 2 - Síntese da pesquisa de tráfego realizada pelo Exército em 2011	12
Tabela 3 - Categorias de veículos para estudos econômicos	13
Tabela 4 - Cálculo do fator de veículo pelo método da AASHTO	14
Tabela 5 - Cálculo do fator de veículo pelo método do USACE	14
Tabela 6 - Categorias de veículos para estudos econômicos	15
Tabela 7 - Espessura de reforço em conformidade com a norma DNER-PRO 11/79	17
Tabela 8 - Espessura de reforço pela norma DNER-PRO 269/94 nos casos de subleito tipo I	18
Tabela 9 - Espessura de reforço pela norma DNER-PRO 269/94 nos casos de subleito tipo II	19
Tabela 10 - Espessura de reforço pela norma DNER-PRO 269/94 nos casos de subleito tipo III	20
Tabela 11 - Espessura de reforço pela norma DNER-PRO 159/85	22

1. APRESENTAÇÃO

O objeto do presente Relatório Técnico 002/14 é apresentar a proposta de um novo catálogo de soluções de recuperação para pavimentos flexíveis para rodovias do DNIT, a ser empregado no âmbito do planejamento rodoviário, em especial no Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP).

A modelagem deste novo catálogo de soluções objetiva conceber uma sistemática gerencial de análise que utilize critérios compatíveis com os empregados nos projetos rodoviários desenvolvidos no órgão ou mesmo à luz das diretrizes e normativas do mesmo, de forma que as soluções de manutenção que venham a ser concebidas e planejadas tenham maior aderência com as indicações de projetos que efetivamente são realizadas nas rodovias federais brasileiras.

Este catálogo foi elaborado de acordo com a norma DNER-PRO 11/79 “Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis - Procedimento “B”” e com o Manual de Soluções Técnico-Gerenciais para Rodovias Federais.

Também foram realizadas análises contemplando a norma DNER-PRO 269/94 “Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV”, para verificação da sensibilidade a outro método de dimensionamento de reforço estrutural – em complementação ao PRO 11/79, bem como o critério de correção de irregularidade da norma DNER-PRO 159/85 “Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semirrígidos”.

Complementarmente foi elaborado um catálogo para pavimentos novos e/ou reconstruções de pavimentos, atendendo ao Método do DNER, conforme apresentado no Manual de Pavimentação, de 2006, na publicação IPR-719.

2. SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS (SGP)

Os pavimentos rodoviários representam um valioso patrimônio cuja conservação e manutenção oportunas são essenciais para a sua preservação. Qualquer interrupção ou redução na intensidade ou na frequência dos serviços necessários à manutenção desse patrimônio implicará em aumentos substanciais nos custos de operação dos veículos e na necessidade de investimentos cada vez mais vultosos para recuperação da malha rodoviária.

O objetivo principal de um sistema gerencial de pavimentos é alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico. Um sistema de gerência de pavimentos compreende, portanto, o

planejamento, a programação dos investimentos, o projeto, as obras de manutenção e a avaliação periódica dos pavimentos (IPR/DNIT, 2000).

Ressalta-se que a elaboração de um sistema gerencial exige uma análise profunda e um adequado conhecimento do ambiente envolvente.

A classificação das diferentes intervenções admitidas para a análise implica na definição de prioridades através do emprego de métodos de programação e a aplicação de critérios com vista a medir a sua influência através de cálculos estatísticos e experimentais.

2.1 BREVE HISTÓRICO DE SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTO NO BRASIL

No Brasil, o crescente interesse no desenvolvimento e aplicação de sistemas gerenciais, pelos diversos órgãos rodoviários, recebeu maior ímpeto a partir de 1983 por uma série de fatores, dentre os quais se destacam:

- Maior evidência da necessidade de manutenção oportuna e adequada da rede rodoviária, devido ao envelhecimento da malha após a fase de construção de grandes projetos rodoviários;
- Órgãos de financiamento, como o Banco Mundial, passaram a incentivar, com a força de credores, um emprego mais racional dos recursos obtidos através de empréstimos;
- Maior limitação de recursos energéticos e de materiais para emprego em pavimentos, ao lado de orçamentos relativamente restritos em face das extensões de rodovias deterioradas;
- Reconhecimento do efeito direto da condição dos pavimentos nos custos operacionais dos veículos;
- Conscientização em relação ao impacto ambiental relacionado a obras rodoviárias;
- Desenvolvimento de tecnologia (métodos e equipamentos) mais avançada para avaliação de pavimentos;
- Avanços tecnológicos capazes de tornar possível o equacionamento do processo de gerência de pavimentos.

Em 1983, o DNER contava com uma rede rodoviária pavimentada de aproximadamente 40.000 km, dos quais cerca de 26% encontravam-se em condições precárias. Estudos realizados pela Diretoria de Planejamento já indicavam uma grande necessidade de se adotar um programa de investimentos em médio prazo que reduzisse esse índice.

As organizações financeiras internacionais já vinham cobrando do órgão um programa, baseado em informações objetivas, referente ao estado de deterioração da rede, com recursos financeiros necessários para sua manutenção e uma previsão dos benefícios econômicos da aplicação oportuna desses recursos. Foi criado então, em 1983, um grupo

permanente de técnicos, representantes das diversas áreas do DNER, constituindo a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos (CPGP).

Outras iniciativas deste porte se detiveram no âmbito estadual em unidades federativas em diversas regiões do país na década de 1990, sendo implantados sistemas de gestão de manutenção e bancos de dados rodoviários. Ainda nesta década, a iniciativa privada, com o advento das concessões no país, passou a ter grande interesse no conhecimento e na previsão de desempenho de pavimentos com o objetivo de antever, racionalizar e otimizar os recursos de manutenção com análises consistentes e estruturadas empregando um software aplicado a uma base de dados atualizada da malha.

2.2 ASPECTOS RELEVANTES DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Os dados armazenados e utilizados no SGP consistem, basicamente, em informações referentes ao sistema de rodovias obtidas no processo de monitoramento dos pavimentos, dados de tráfego e informações sobre serviços e custos de obras. Sendo as principais vantagens de sua utilização:

- Organização de dados;
- Armazenamento de dados históricos de monitoramento dos pavimentos;
- Controle de acesso às informações;
- Rápido diagnóstico da malha e de segmentos;
- Planejamento rodoviário de forma sistemática e compatível com as normativas do DNIT;
- Interface com HDM.

2.3 ATUAL SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS DO DNIT

O atual Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT foi totalmente reestruturado em 1996 e remodelado em 2001. Em 2007 foi feita sua integração com o software HDM-4. O banco de dados do SGP é basicamente alimentado com os dados de tráfego, condição estrutural, irregularidade e defeitos do pavimento, por segmentos homogêneos, respeitando-se os limites da divisão em trechos do atual Sistema Nacional de Viação – SNV.

Junto à equipe técnica da CGPLAN foram levantadas as principais características do atual Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT. Também foram apresentados o modelo de dados e as principais funcionalidades do sistema, entre as quais podemos destacar a comunicação do atual SGP com o Modelo HDM-4 - versão 1.3, a criação de segmentos homogêneos, a representação de dados de irregularidade (IRI), levantamento visual contínuo (LVC), deflectometria (FWD), volumes de tráfego (VMD) e relatórios de projeção de desempenho. Destaca-se que atualmente a malha está segmentada de 20 em 20 metros quanto aos dados cadastrados.

Os dados presentes no sistema são provenientes de levantamentos da malha rodoviária federal, referenciando-os ao segmentos do Sistema Nacional de Viação (SNV), antigo Plano Nacional de Viação (PNV). O sistema não contempla integrações com outros sistemas, permitindo apenas a exportação dos dados em formato padronizado.

As Figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam telas do referido sistema.

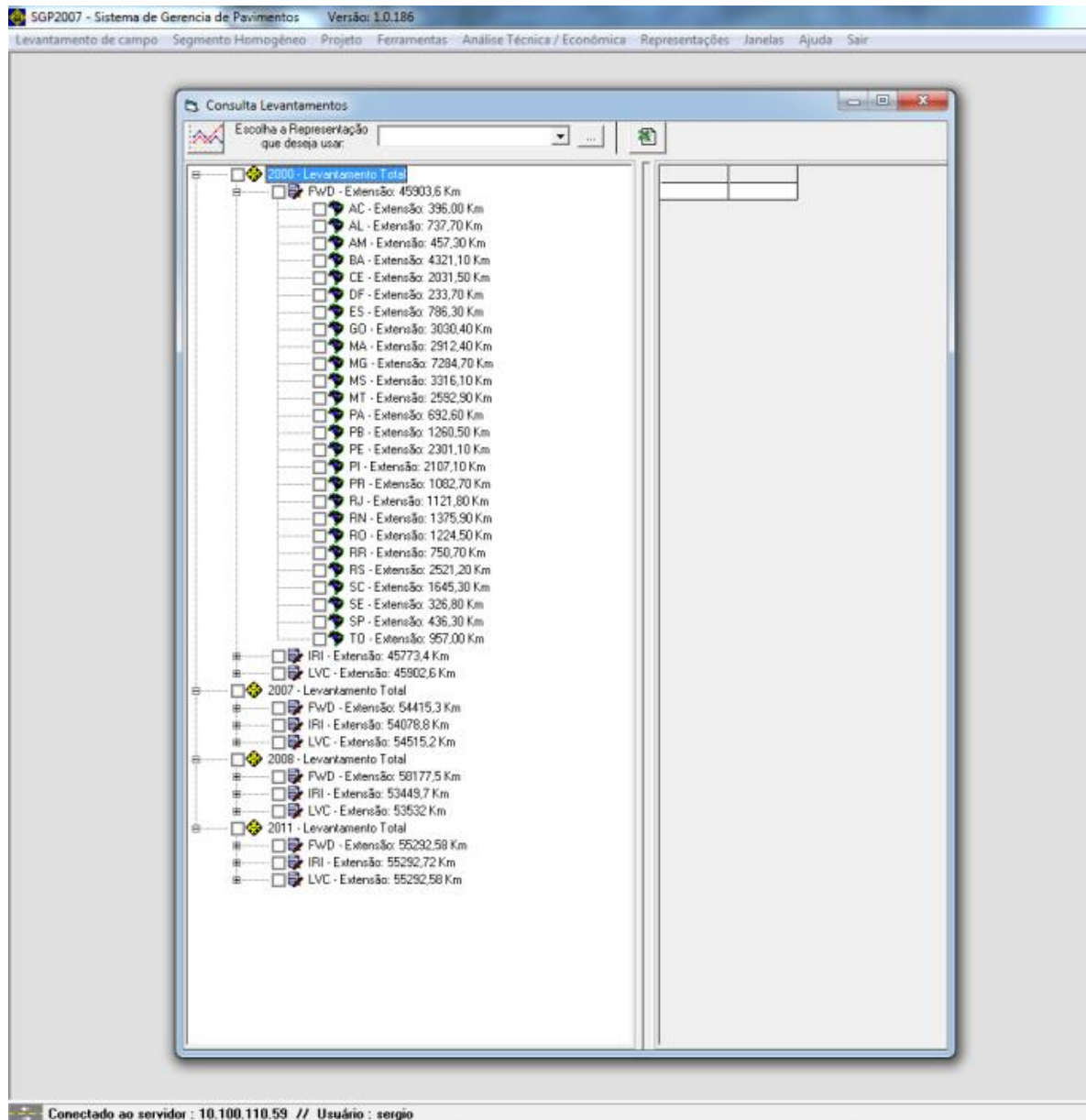


Figura 1 – Tela de dados disponíveis de levantamentos

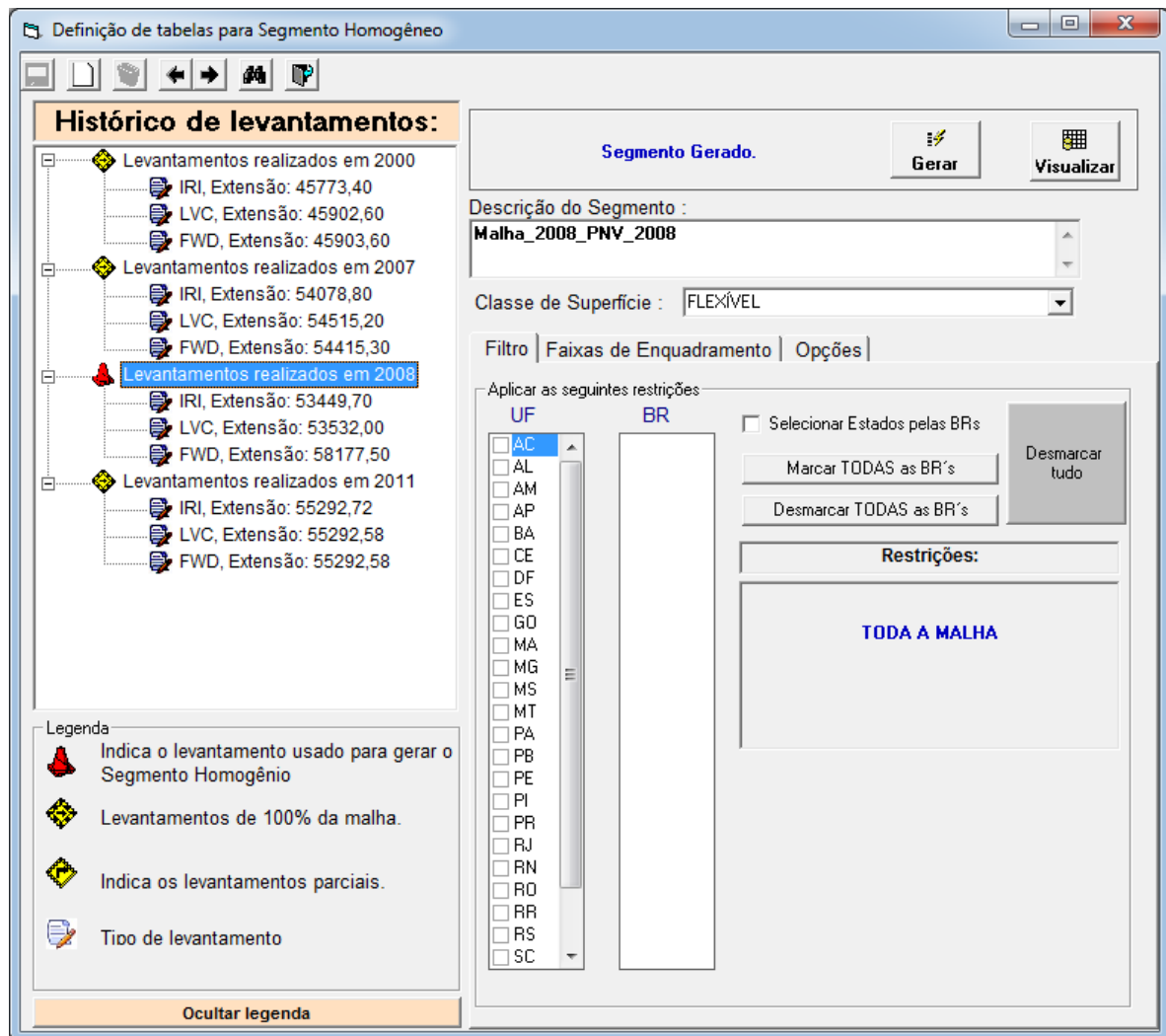


Figura 2 – Tela de segmentação homogênea

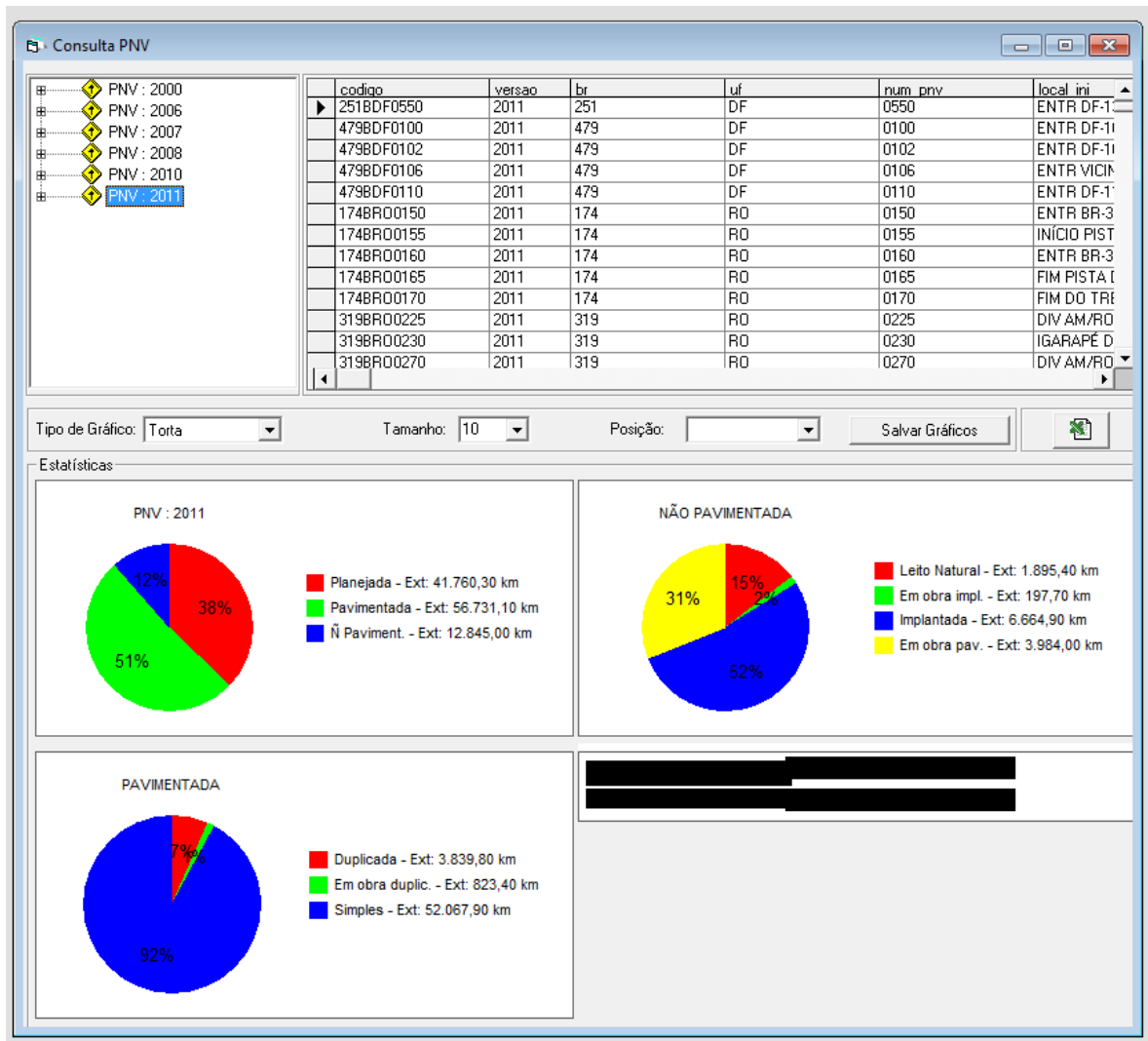


Figura 3 – Tela de segmentação do SNV

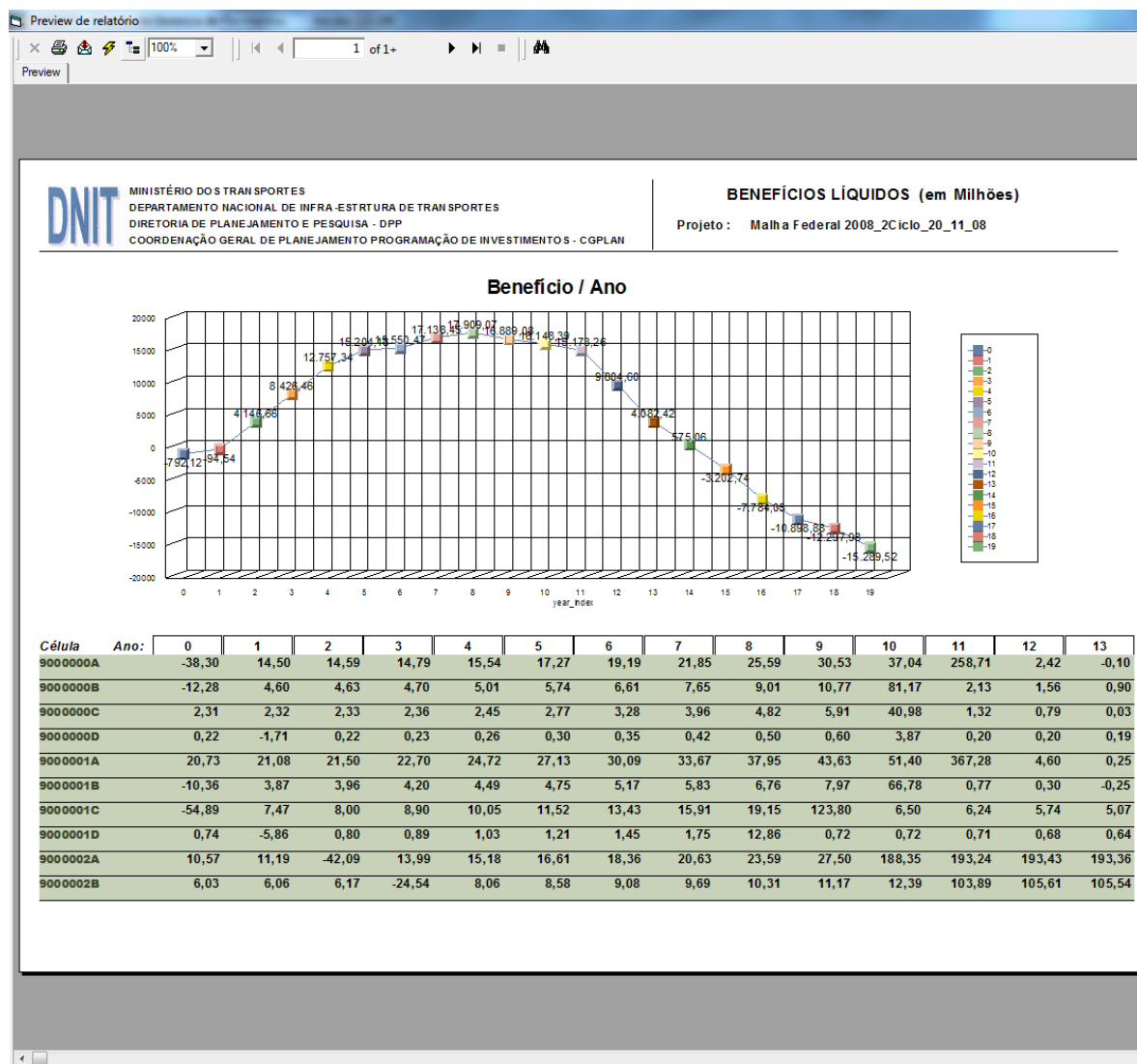


Figura 4 – Modelo de Relatório

O cadastro de dados da malha rodoviária é feito a partir dos contratos de levantamento de campo, representado a cada 20 metros, sendo realizados, sempre que possível, anualmente. Estes levantamentos de campo contemplam parte da estrutura de Planejamento e Gestão da Malha Rodoviária Federal Pavimentada.

A integração com o HDM (*Highway Development Management*) é feita atualmente por meio da exportação dos dados do sistema em formato padronizado para importação no modelo HDM. A partir do tratamento dos dados no software HDM-4, o relatório gerado é novamente importado para a base de dados do atual SGP.

2.4 REMODELAGEM DO SGP EM DESENVOLVIMENTO

A remodelagem do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), cuja conclusão está prevista para o mês de março de 2015, tem como enfoque principal a construção de um aplicativo operado por estações de trabalho que acessem uma base de dados centralizada em um servidor, sendo este acesso realizado em rede.

A interface é amigável ao usuário, permitindo a consulta e o tratamento de dados para fins gerenciais de forma consistente e gerando interfaces que permitem seu inter-relacionamento com a atual base de dados, com o programa de análise econômica de investimentos em rodovias (HDM-4).

O software permite acesso e pesquisa dos dados via intranet, respeitando as regras de segurança da informação através de níveis de acesso do usuário cadastrado, centralizando a base de conhecimento (banco de dados), mas universalizando a informação, permitindo que cada especialista desenvolva consultas e análises referentes a um trecho ou à malha.

O Sistema de Gerência de Pavimentos, tecnicamente, é baseado em três modelos distintos:

- **Matrizes de Soluções:** responsáveis pela indicação das intervenções a serem adotadas a partir da condição presente do pavimento;
- **Estimativa de Custos:** a partir das intervenções indicadas, deve ser realizada a estimativa de investimento para fins gerenciais;
- **Previsão do Desempenho:** permite que seja prevista, com HDM, a evolução das condições funcionais, estruturais e de demanda dos diversos segmentos rodoviários a partir dos indicadores atuais, sendo indispensável para fins de planejamento;

Através da interface com o HDM-4 é possível também realizar a priorização de investimentos (modelagem econômica), indicando ao gestor os trechos que devem ser priorizados a partir do retorno econômico associado às estimativas de investimento das intervenções previstas.

É proposta para a remodelagem do SGP, uma matriz de planejamento gerencial, devidamente compatibilizada com as diretrizes de projeto do órgão, que permite definir o tipo e custo dos serviços e obras de manutenção dos segmentos viários da malha federal.

3. CATÁLOGO DE SOLUÇÕES

A proposta do novo catálogo de soluções gerenciais para a manutenção dos trechos pavimentados está fundamentada em parâmetros de tráfego, na condição estrutural e na condição funcional dos pavimentos.

Para a idealização da matriz, os parâmetros supracitados foram organizados em faixas numéricas, que facilitam a utilização e definição das soluções a serem adotadas em cada cenário.

a) Parâmetros de Tráfego

Os métodos de projetos de pavimentação e restauração dos pavimentos preconizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) objetivam se adequar uma estrutura de pavimento às solicitações de tráfego previstas, de forma a permitir o adequado deslocamento dos usuários pelas rodovias.

Nos métodos de projeto nacionais, todo o tráfego previsto ao longo do horizonte de projeto é convertido em termos de solicitações equivalentes do eixo padrão rodoviário (um eixo simples de rotação dupla com carga de 8,2t, denominado Número “N”).

Na determinação do Número “N” são considerados certos fatores relacionados com a composição do tráfego e referidos a cada categoria de veículo, definida em função da carga transportada e do número de eixos dos veículos.

Tem-se, portanto, que o número “N” tem influência direta do volume de tráfego atuante, determinado a partir do Volume Médio Diário (VMD), e do perfil da frota e das cargas por eixo, representado pelo Fv.

O fator de veículos (Fv) é um multiplicador que permite a determinação do número de eixos equivalentes ao eixo padrão a partir do volume de veículos que trafega durante o período de projeto. Este fator pode ser calculado pelo produto do fator de eixo pelo fator de carga.

O fator de veículo depende, portanto, do tipo de eixo e de sua respectiva carga, sendo as equações para a determinação dos mesmos, apresentada na Tabela 1, conforme apresentado no “Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos”, de 2006, na publicação IPR-720, do DNIT, onde P é o peso bruto total sobre o eixo, em tf.

Tabela 1- Equações para cálculo do Fator de Equivalência pelos métodos USACE e AASHTO

Método	Tipo de Eixo	Código	Faixa de Cargas (t)	Equações (P em tf)
USACE	Dianteiro Simples e Traseiro Simples	ES / ED	< 8	$FV = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
			≥ 8	$FV = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
	Tandem Duplo	ETD	< 11	$FV = 1,592 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
			≥ 11	$FV = 1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
	Tandem Triplo	ETT	< 18	$FV = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
			≥ 18	$FV = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

Método	Tipo de Eixo	Código	Faixa de Cargas (t)	Equações (P em tf)
AASHTO	Simple de Rodagem Simples	ES	Independente	$FV = (P/7,77)^{4,32}$
	Simple de Rodagem Dupla	ED	Independente	$FV = (P/8,17)^{4,32}$
	Tandem Duplo (Rodagem Dupla)	ETD	Independente	$FV = (P/15,08)^{4,14}$
	Tandem Triplo (Rodagem Dupla)	ETT	Independente	$FV = (P/22,95)^{4,14}$

Nota: o emprego de um ou outro método de cálculo (USACE ou AASHTO) se dá em função do modelo ou método utilizado no projeto.

Tem-se, portanto, que o aumento da carga por eixo, para um dado volume de tráfego diário e sua respectiva composição, implica num incremento exponencial do número “N”, que é o parâmetro primordial de projeto e para análise de desempenho de um pavimento.

Assim, para poder se definir um número “N” para cada segmento, a ser analisado no âmbito da gerência de pavimentos, deve-se conhecer tanto o volume de tráfego, especialmente o tráfego comercial – visto que a operação de veículos de passeio gera um carregamento cujo dano é desprezível, de acordo com os citados manuais do DNIT.

Face à complexidade associada à determinação do número “N” optou-se pela escolha do volume médio diário de tráfego comercial (VMDc), como parâmetro do catálogo, associando-se um parâmetro de fácil obtenção e diretamente relacionado ao tráfego equivalente e/ou as solicitações impostas ao pavimento.

Neste ponto, têm-se como premissa do catálogo de soluções proposto os valores de VMDc dividido em cinco faixas distintas, a saber:



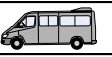
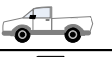
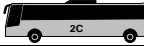





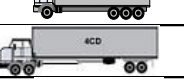





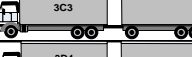

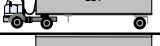



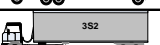
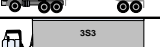

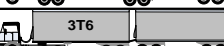
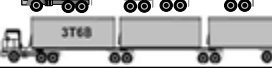
- **Faixa 1: $VMDc \leq 800$ - Tráfego baixo**
- **Faixa 2: $800 \leq VMDc \leq 1600$ – Tráfego variando de baixo a médio**
- **Faixa 3: $1600 \leq VMDc \leq 2400$ – Tráfego médio**
- **Faixa 4: $2400 \leq VMDc \leq 3200$ – Tráfego alto**
- **Faixa 5: $VMDc > 3200$ – Tráfego muito alto**

Os valores propostos são referenciais iniciais, de forma a se ter um equilíbrio na distribuição do tráfego em operação nas cinco faixas de tráfego, tendo em vista os dados de tráfego do SGP do DNIT.

Com o objetivo de se determinar o número “N” associado a cada uma das faixas de tráfego em questão fez-se necessária a utilização das informações de contagens volumétricas e classificatórias de tráfego promovidas pelo Ministério dos Transportes, em parceria com o Exército Brasileiro, nas rodovias federais ao longo do ano de 2011. Tais informações foram disponibilizadas pelo DNIT, estão sintetizados na Tabela 2 e apresentam as seguintes características:

- 57,3% do tráfego composto por veículos de passeio, tais como automóveis, utilitários, vans e caminhonetes;
- 4,8 % do tráfego composto por motocicletas;
- 5,1% do tráfego composto por ônibus;
- 39,4% do tráfego composto por caminhões, dos quais 5,5 % (ou 15,6% do total) são veículos combinados.

Tabela 2 - Síntese da pesquisa de tráfego realizada ao longo do ano de 2011

TIPOS DE VEÍCULOS		Classe	Volume	%	
			Consolidado	Consolidado	
			163 postos	163 postos	
Motos		M	81.523	4,8%	
PASSEIO E LEVES		P1	824.531	48,6%	
		P2	34.342	2,0%	
		P3	112.841	6,6%	
ÔNIBUS		O1	34.139	2,0%	
		O2	15.906	0,9%	
		O3	2.062	0,1%	
CAMINHÕES	LEVES		C1	87.022	5,1%
			C2	138.659	8,2%
			C3	2.373	0,1%
			C4	5.672	0,3%
			C5	6.144	0,4%
	REBOQUES		R1	456	0,0%
			R2	478	0,0%
			R3	257	0,0%
			R4	710	0,0%
			R5	569	0,0%
			R6	575	0,0%
	SEMI-REBOQUES		S1	3.230	0,2%
			S2	23.209	1,4%
			S3	100.915	5,9%
			S4	1.581	0,1%
			S5	10.192	0,6%
			S6	120.278	7,1%
	SEMI-REBOQUES ESPECIAIS		SE1	73.850	4,4%
			SE2	13.664	0,8%
			SE3	2.000	0,1%
	TOTALIS			1.697.180	100,0%

Encontra-se em andamento uma pesquisa para calibração do HDM-4 para a malha federal brasileira, para fins de gerência de pavimentos e estudos técnico-econômicos. Nesta pesquisa, objeto do contrato N°456/2012-UASG 393003, propõem-se o emprego de treze tipos distintos de categorias de tráfego, como apresentado na Tabela 3:

Tabela 3- Categorias de veículos para estudos econômicos

Código HDM	Código DNER/DNIT	Código Ministério dos Transportes	Descrição
M	-	M	Moto
P1	-	P1 e P2	Automóvel
P3	-	P3	Utilitário
O1	-	O1, O2 e O3	Ônibus
C1	2C	C1	Caminhão trucado de dois eixos
C2	3C	C2, C3, C4 e C5	Caminhão trucado de três eixos
R1	3Q4	R1	Reboque de sete eixos
R2	2C2	R2 e R3	Reboque de quatro eixos
R4	3C2	R4	Reboque de cinco eixos
R5	3C3	R5 e R6	Reboque de seis eixos
S3	2S3	S1, S2, S3 e S4	Semi-reboque de cinco eixos
S6	3S3	S5 e S6	Semi-reboque de seis eixos
SE1	3T4	SE1, SE2 e SE3	Semi-reboque especial de sete eixos

Nos estudos e projeto desenvolvidos em rodovias brasileiras, quando não se dispõe de dados de pesagens representativos, nem de estudos econômicos específicos, em geral são realizadas considerações acerca da taxa de veículos carregados e de veículos vazios. Para fins de gerenciamento e planejamento rodoviário, consideraram-se, no presente estudo, 70% e 30%, respectivamente tendo em vista dados de balanças de rodovias concedidas no estado de São Paulo.

Para a determinação dos fatores de veículos representativos, em termos gerenciais, da frota circulante na malha rodoviária nacional, os dados das contagens das pesquisas realizadas pelo Exército foram convertidos nas categorias propostas no âmbito da calibração do HDM-

4. Nesta conversão, tendo em vista que há a necessidade de se reduzir o número de categorias de veículos, os tipos de veículos categorizados pelo Exército foram agrupados em função do número e tipo de eixos, conforme apresentado na Tabela 3. Também foi arbitrado que 70% desta frota opera na carga máxima legal e que 30% da mesma circula vazia. Tais considerações levam a fatores de veículo determinados pelo método da AASHTO e da USACE de 2,43 e 9,10, respectivamente, como demonstrado nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Cálculo do fator de veículo pelo método da AASHTO

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - AASHTO														
Malha: Federal														
Descrição: Veículos típicos - tipos TNM														
Hipótese:		% Veículos - Máx. Legal			70%			% Veículos - Vazios			30%			
Categoria	Tipo	nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário	Distrib. (%)	Fatores de Veículos - AASHTO					
			ESRS	ESRD	ETD	ETT			Individual			Total		
									Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso
Ônibus	O1	2	1	1	0	0	52.107	8,1%	2,72	0,14	3,72	0,22	0,01	0,30
Cam. Leves	C1	2	1	1	0	0	87.022	13,5%	2,72	0,14	3,72	0,37	0,02	0,50
Cam. Médios	C2	3	1	0	1	0	152.849	23,7%	1,97	0,11	2,66	0,47	0,03	0,63
Semi-Reboques	S3	5	1	1	0	1	128.935	20,0%	4,28	0,22	5,84	0,86	0,04	1,17
	S6	6	1	0	1	1	130.470	20,3%	3,53	0,19	4,78	0,72	0,04	0,97
	SE1	7	1	0	3	0	89.514	13,9%	5,25	0,30	7,09	0,73	0,04	0,99
Reboques	R2	4	1	3	0	0	734	0,1%	7,51	0,38	10,27	0,01	0,00	0,01
	R1	5	1	2	1	0	456	0,1%	6,76	0,35	9,21	0,00	0,00	0,01
	R4	5	1	2	1	0	710	0,1%	6,76	0,35	9,21	0,01	0,00	0,01
	R5	6	1	1	2	0	1.145	0,2%	6,01	0,32	8,15	0,01	0,00	0,01
Total							643.943	100,0%				3,39	0,18	4,60
												FV_{AASHTO}		2,43

Tabela 5 - Cálculo do fator de veículo pelo método do USACE

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - USACE														
Malha: Federal														
Descrição: Veículos típicos - tipos TNM														
Hipótese:		% Veículos - Máx. Legal			70%			% Veículos - Vazios			30%			
Categoria	Tipo	nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário	Distrib. (%)	Fatores de Veículos - USACE					
			ESRS	ESRD	ETD	ETT			Individual			Total		
									Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	52.107	8,1%	3,57	0,15	5,54	0,29	0,01	0,45
Cam. Leves	2C	2	1	1	0	0	87.022	13,5%	3,57	0,15	5,54	0,48	0,02	0,75
Cam. Médios	3C	3	1	0	1	0	152.849	23,7%	8,83	0,29	13,08	2,10	0,07	3,11
Semi-Reboques	2S3	5	1	1	0	1	128.935	20,0%	12,87	0,56	19,46	2,58	0,11	3,90
	3S3	6	1	0	1	1	130.470	20,3%	18,13	0,70	27,00	3,67	0,14	5,47
	3S2S2	7	1	0	3	0	89.514	13,9%	25,92	0,82	38,50	3,60	0,11	5,35
Reboques	2C2	4	1	3	0	0	734	0,1%	10,15	0,42	15,88	0,01	0,00	0,02
	2C3	5	1	2	1	0	456	0,1%	15,41	0,55	23,42	0,01	0,00	0,02
	3C2	5	1	2	1	0	710	0,1%	15,41	0,55	23,42	0,02	0,00	0,03
	3C3	6	1	1	2	0	1.145	0,2%	20,66	0,69	30,96	0,04	0,00	0,06
Total							643.943	100,0%				12,79	0,47	19,14
												FV_{USACE}		9,10

A partir deste estudo, pôde-se associar um número “N” pelo método do USACE para o horizonte de 10 anos para cada uma das faixas de volume médio diário de tráfego propostos na matriz, para fins de pré-dimensionamento das soluções de manutenção. Tais valores são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Categorias de veículos para estudos econômicos

Faixa (#)	VMDc	Descrição	Número “N” USACE para 10 anos associado
1	≤ 800	Tráfego baixo	$1,3 \times 10^7$
2	800 a 1.600	Tráfego de baixo a médio	$2,3 \times 10^7$
3	1.600 a 2.400	Tráfego médio	$3,9 \times 10^7$
4	2.400 a 3.200	Tráfego alto	$5,2 \times 10^7$
5	> 3.200	Tráfego muito alto	$1,3 \times 10^8$

Nota: Fator de Veículo USACE de 8,82.

b) Parâmetros Estruturais (Dados Deflectométricos)

O segundo parâmetro selecionado para compor o catálogo de soluções foi a deflexão, mas não puramente a medida da deflexão sob a ação da carga, e sim a relação entre a deflexão característica e a deflexão admissível – por representar melhor a condição estrutural do pavimento como um todo, independente de variações no volume de tráfego e com possibilidade de se adequar o horizonte de análise ao se recalcular a deflexão admissível.

Assim, a relação entre a deflexão característica (D_c) - definida como sendo a deflexão média acrescida de um desvio padrão – e a deflexão admissível (D_{adm}) foi dividida em quatro faixas representativas de diferentes níveis de esforços para recuperação estrutural do pavimento em conformidade com a norma DNER PRO 11/79:

- **Faixa 1: $D_c/D_{adm} \leq 1,1$ – Pavimento sem problemas estruturais;**
- **Faixa 2: $1,1 < D_c/D_{adm} \leq 1,5$ – Pavimento com deficiência estrutural leve;**
- **Faixa 3: $1,5 < D_c/D_{adm} \leq 2,0$ – Pavimento com problemas estruturais;**
- **Faixa 4: $D_c/D_{adm} > 2,0$ – Pavimento com grandes problemas estruturais;**

Utilizou-se como referência para a avaliação estrutural do pavimento as normas do PRO 011/79 e PRO-269/94 (neste caso para os três tipos possíveis de subleito), que define com base nos critérios de deformabilidade, a vida restante ou o reforço necessário para garantir a vida útil do pavimento. No presente estudo considerou-se, em todos os casos, que a deflexão de projeto equivale a deflexão característica, visto que este valor estatisticamente corresponde a 85% de representatividade. Em relação a deflexão de projeto utilizou-se o mesmo valor da deflexão admissível, visto que o emprego de fatores de segurança nesta etapa pode ser interpretado como superdimensionamento.

Com base nos dados deflectométricos, é possível estabelecer as espessuras de reforço estrutural a serem adotadas, cujas análises são realizadas com base nos quatro cenários distintos citados, tomando-se como critérios os parâmetros de tráfego e os parâmetros estruturais, conforme mostrado a seguir:

- Dimensionamento em conformidade com a norma DNER PRO 011/79;
- Dimensionamento em conformidade com a norma DNER PRO 269/94, sendo o subleito do tipo I;
- Dimensionamento em conformidade com a norma DNER PRO 269/94, sendo o subleito do tipo II;
- Dimensionamento em conformidade com a norma DNER PRO 269/94, sendo o subleito do tipo III.

Para o dimensionamento preconizado pela norma do DNER PRO 011/79 é realizado o diagnóstico do pavimento com base em critérios deflectométricos ou de resistência, que avaliam a qualidade estrutural do pavimento analisado e propõem as medidas corretivas. A Tabela 7 demonstra as espessuras mínimas de reforço a serem adotadas para cada faixa de deflexão, variando-se também as faixas de tráfego.

Em síntese na Tabela 7 para as distintas faixas de tráfego estipulou-se o número "N" e, conseqüentemente, a deflexão admissível (D_{adm}) associados. A determinação da deflexão característica (D_c) de forma a ter as espessuras de reforço associadas, ocorreu a partir das diferentes relações D_c/D_{adm} pré-fixadas.

Tabela 7 - Espessura de reforço em conformidade com a norma DNER-PRO 11/79

Espessuras de Reforço Necessárias - DNER-PRO-011										
VMDc	Relação	Dc	N	Dadm	Hipótese	Qualidade	Necessidade	Critério para	Medidas	HR
Comercial	Dc/Dadm	(0,01 mm)	USACE	(0,01 mm)		Estrutural	de Est. Compl.	Cálculo de Reforço	Corretivas	(cm)
800	0,9	51,6	1,3E+07	57,4	I	Boa	Não	-	Apenas superficiais	0,0
800	1,1	63,1	1,3E+07	57,4	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,5
800	1,5	86,1	1,3E+07	57,4	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
800	2,0	114,7	1,3E+07	57,4	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
800	3,0	172,1	1,3E+07	57,4	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	19,0
800	3,1	177,8	1,3E+07	57,4	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,5
1.600	0,9	45,7	2,6E+07	50,8	I	Boa	Não	-	Apenas superficiais	0,0
1.600	1,1	55,9	2,6E+07	50,8	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,5
1.600	1,5	76,2	2,6E+07	50,8	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
1.600	2,0	101,6	2,6E+07	50,8	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
1.600	3,0	152,3	2,6E+07	50,8	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	19,0
1.600	3,1	157,4	2,6E+07	50,8	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,5
2.400	0,9	42,6	3,9E+07	47,3	I	Boa	Não	-	Apenas superficiais	0,0
2.400	1,1	52,0	3,9E+07	47,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,5
2.400	1,5	70,9	3,9E+07	47,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
2.400	2,0	94,6	3,9E+07	47,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
2.400	3,0	141,8	3,9E+07	47,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	19,0
2.400	3,1	146,6	3,9E+07	47,3	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,5
3.200	0,9	40,5	5,2E+07	44,9	I	Boa	Não	-	Apenas superficiais	0,0
3.200	1,1	49,4	5,2E+07	44,9	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,5
3.200	1,5	67,4	5,2E+07	44,9	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
3.200	2,0	89,9	5,2E+07	44,9	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
3.200	3,0	134,8	5,2E+07	44,9	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	19,0
3.200	3,1	139,3	5,2E+07	44,9	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,5
8.000	0,9	34,4	1,3E+08	38,3	I	Boa	Não	-	Apenas superficiais	0,0
8.000	1,1	42,1	1,3E+08	38,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	1,5
8.000	1,5	57,4	1,3E+08	38,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,0
8.000	2,0	76,5	1,3E+08	38,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,0
8.000	3,0	114,8	1,3E+08	38,3	IIA	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	19,0
8.000	3,1	118,6	1,3E+08	38,3	IV	Má	Sim	Resistência	Reforço ou Reconstrução	19,5

Para o dimensionamento com base na norma DNER PRO 269/94 é considerada a deformação elástica recuperável do subleito e das camadas constituintes do pavimento, que estão sob a ação de cargas repetitivas. As camadas do subleito por sua vez, são classificadas quanto a sua resiliência, em solos do tipo I, tipo II e tipo III, em função do seu percentual de silte (S) na fração fina, que passa na peneira nº 200, e do valor do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) correspondente.

As Tabelas 8, 9 e 10 demonstram as espessuras mínimas a serem adotadas para cada faixa de deflexão, variando-se também as faixas de tráfego e o tipo de subleito. Em síntese, tal qual na Tabela 7, para as distintas faixas de tráfego estipulou-se o número "N" e, conseqüentemente, a deflexão admissível (Dadm) associados. A determinação da deflexão característica (Dc) de forma a ter as espessuras de reforço associadas, ocorreu a partir das diferentes relações Dc/Dadm pré-fixadas.

Tabela 8 - Espessura de reforço pela norma DNER-PRO 269/94 nos casos de subleito tipo I

Espessuras de Reforço Necessárias - DNER-PRO-269 - Solo tipo 1									
VMDc	Relação	Dc	N	Dadm	Tipo	Dadm	Hef	Solução para	HR
Comercial	Dc/Dadm	(0,01 mm)	USACE	(0,01 mm)	Subl.	(0,01mm)	(cm)	Recapamento	(cm)
800	0,9	58,3	1,3E+07	64,8	1	64,8	8,1	Caso 4	0,0
800	1,1	71,2	1,3E+07	64,8	1	64,8	5,6	Caso 4	3,0
800	1,5	97,2	1,3E+07	64,8	1	64,8	2,6	Caso 1	7,0
800	2,0	129,5	1,3E+07	64,8	1	64,8	0,5	Caso 1	10,0
800	3,0	194,3	1,3E+07	64,8	1	64,8	-1,6	Caso 2	12,5
800	3,1	200,8	1,3E+07	64,8	1	64,8	-1,7	Caso 2	13,0
1.600	0,9	51,2	2,6E+07	56,9	1	56,9	10,1	Caso 4	0,0
1.600	1,1	62,5	2,6E+07	56,9	1	56,9	7,2	Caso 4	3,0
1.600	1,5	85,3	2,6E+07	56,9	1	56,9	3,7	Caso 1	7,5
1.600	2,0	113,7	2,6E+07	56,9	1	56,9	1,4	Caso 1	10,5
1.600	3,0	170,6	2,6E+07	56,9	1	56,9	-1,0	Caso 2	14,0
1.600	3,1	176,2	2,6E+07	56,9	1	56,9	-1,2	Caso 2	14,0
2.400	0,9	47,4	3,9E+07	52,7	1	52,7	11,3	Caso 4	0,0
2.400	1,1	57,9	3,9E+07	52,7	1	52,7	8,2	Caso 4	2,5
2.400	1,5	79,0	3,9E+07	52,7	1	52,7	4,5	Caso 1	7,5
2.400	2,0	105,4	3,9E+07	52,7	1	52,7	1,9	Caso 1	11,0
2.400	3,0	158,0	3,9E+07	52,7	1	52,7	-0,6	Caso 2	14,5
2.400	3,1	163,3	3,9E+07	52,7	1	52,7	-0,8	Caso 2	15,0
3.200	0,9	44,9	5,2E+07	49,9	1	49,9	12,3	Caso 4	0,0
3.200	1,1	54,9	5,2E+07	49,9	1	49,9	9,0	Caso 4	2,5
3.200	1,5	74,9	5,2E+07	49,9	1	49,9	5,1	Caso 1	8,0
3.200	2,0	99,8	5,2E+07	49,9	1	49,9	2,4	Caso 1	11,5
3.200	3,0	149,7	5,2E+07	49,9	1	49,9	-0,3	Caso 2	15,0
3.200	3,1	154,7	5,2E+07	49,9	1	49,9	-0,5	Caso 2	15,5
8.000	0,9	37,8	1,3E+08	42,0	1	42,0	15,6	Caso 4	0,0
8.000	1,1	46,2	1,3E+08	42,0	1	42,0	11,7	Caso 4	2,0
8.000	1,5	63,0	1,3E+08	42,0	1	42,0	7,1	Caso 1	8,0
8.000	2,0	84,0	1,3E+08	42,0	1	42,0	3,9	Caso 1	12,5
8.000	3,0	126,0	1,3E+08	42,0	1	42,0	0,7	Caso 2	17,0
8.000	3,1	130,2	1,3E+08	42,0	1	42,0	0,5	Caso 2	17,0

Tabela 9 - Espessura de reforço pela norma DNER-PRO 269/94 nos casos de subleito tipo II

Espessuras de Reforço Necessárias - DNER-PRO-269 - Solo tipo 2									
VMDc	Relação	Dc	N	Dadm	Tipo	Dadm	Hef	Solução para	HR
Comercial	Dc/Dadm	(0,01 mm)	USACE	(0,01 mm)	Subl.	(0,01mm)	(cm)	Recapamento	(cm)
800	0,9	58,3	1,3E+07	64,8	2	64,8	9,1	Caso 4	0,0
800	1,1	71,2	1,3E+07	64,8	2	64,8	6,6	Caso 4	2,5
800	1,5	97,2	1,3E+07	64,8	2	64,8	3,6	Caso 1	7,0
800	2,0	129,5	1,3E+07	64,8	2	64,8	1,5	Caso 1	9,5
800	3,0	194,3	1,3E+07	64,8	2	64,8	-0,6	Caso 1	12,5
800	3,1	200,8	1,3E+07	64,8	2	64,8	-0,7	Caso 2	12,5
1.600	0,9	51,2	2,6E+07	56,9	2	56,9	11,0	Caso 4	0,0
1.600	1,1	62,5	2,6E+07	56,9	2	56,9	8,2	Caso 4	2,5
1.600	1,5	85,3	2,6E+07	56,9	2	56,9	4,7	Caso 1	7,0
1.600	2,0	113,7	2,6E+07	56,9	2	56,9	2,3	Caso 1	10,5
1.600	3,0	170,6	2,6E+07	56,9	2	56,9	0,0	Caso 2	13,5
1.600	3,1	176,2	2,6E+07	56,9	2	56,9	-0,2	Caso 2	14,0
2.400	0,9	47,4	3,9E+07	52,7	2	52,7	12,3	Caso 4	0,0
2.400	1,1	57,9	3,9E+07	52,7	2	52,7	9,2	Caso 4	2,5
2.400	1,5	79,0	3,9E+07	52,7	2	52,7	5,5	Caso 1	7,5
2.400	2,0	105,4	3,9E+07	52,7	2	52,7	2,9	Caso 1	11,0
2.400	3,0	158,0	3,9E+07	52,7	2	52,7	0,3	Caso 2	14,5
2.400	3,1	163,3	3,9E+07	52,7	2	52,7	0,2	Caso 2	14,5
3.200	0,9	44,9	5,2E+07	49,9	2	49,9	13,2	Caso 4	0,0
3.200	1,1	54,9	5,2E+07	49,9	2	49,9	10,0	Caso 4	2,0
3.200	1,5	74,9	5,2E+07	49,9	2	49,9	6,0	Caso 1	7,5
3.200	2,0	99,8	5,2E+07	49,9	2	49,9	3,3	Caso 1	11,0
3.200	3,0	149,7	5,2E+07	49,9	2	49,9	0,6	Caso 2	15,0
3.200	3,1	154,7	5,2E+07	49,9	2	49,9	0,5	Caso 2	15,0
8.000	0,9	37,8	1,3E+08	42,0	2	42,0	16,6	Caso 4	0,0
8.000	1,1	46,2	1,3E+08	42,0	2	42,0	12,7	Caso 4	1,5
8.000	1,5	63,0	1,3E+08	42,0	2	42,0	8,1	Caso 1	8,0
8.000	2,0	84,0	1,3E+08	42,0	2	42,0	4,9	Caso 1	12,0
8.000	3,0	126,0	1,3E+08	42,0	2	42,0	1,6	Caso 2	16,5
8.000	3,1	130,2	1,3E+08	42,0	2	42,0	1,4	Caso 2	17,0

Tabela 10 - Espessura de reforço pela norma DNER-PRO 269/94 nos casos de subleito tipo III

Espessuras de Reforço Necessárias - DNER-PRO-269 - Solo tipo 3									
VMDc	Relação	Dc	N	Dadm	Tipo	Dadm	Hef	Solução para	HR
Comercial	Dc/Dadm	(0,01 mm)	USACE	(0,01 mm)	Subl.	(0,01mm)	(cm)	Recapamento	(cm)
800	0,9	58,3	1,3E+07	64,8	3	64,8	12,2	Caso 4	0,0
800	1,1	71,2	1,3E+07	64,8	3	64,8	9,7	Caso 4	1,5
800	1,5	97,2	1,3E+07	64,8	3	64,8	6,7	Caso 1	5,5
800	2,0	129,5	1,3E+07	64,8	3	64,8	4,6	Caso 1	8,0
800	3,0	194,3	1,3E+07	64,8	3	64,8	2,5	Caso 1	11,0
800	3,1	200,8	1,3E+07	64,8	3	64,8	2,4	Caso 1	11,0
1.600	0,9	51,2	2,6E+07	56,9	3	56,9	14,2	Caso 4	0,0
1.600	1,1	62,5	2,6E+07	56,9	3	56,9	11,3	Caso 4	1,0
1.600	1,5	85,3	2,6E+07	56,9	3	56,9	7,8	Caso 1	6,0
1.600	2,0	113,7	2,6E+07	56,9	3	56,9	5,5	Caso 1	9,0
1.600	3,0	170,6	2,6E+07	56,9	3	56,9	3,1	Caso 1	12,5
1.600	3,1	176,2	2,6E+07	56,9	3	56,9	2,9	Caso 1	12,5
2.400	0,9	47,4	3,9E+07	52,7	3	52,7	15,4	Caso 4	0,0
2.400	1,1	57,9	3,9E+07	52,7	3	52,7	12,3	Caso 4	1,0
2.400	1,5	79,0	3,9E+07	52,7	3	52,7	8,6	Caso 1	6,0
2.400	2,0	105,4	3,9E+07	52,7	3	52,7	6,0	Caso 1	9,5
2.400	3,0	158,0	3,9E+07	52,7	3	52,7	3,5	Caso 2	13,0
2.400	3,1	163,3	3,9E+07	52,7	3	52,7	3,3	Caso 2	13,0
3.200	0,9	44,9	5,2E+07	49,9	3	49,9	16,4	Caso 4	0,0
3.200	1,1	54,9	5,2E+07	49,9	3	49,9	13,1	Caso 4	1,0
3.200	1,5	74,9	5,2E+07	49,9	3	49,9	9,2	Caso 1	6,0
3.200	2,0	99,8	5,2E+07	49,9	3	49,9	6,5	Caso 1	10,0
3.200	3,0	149,7	5,2E+07	49,9	3	49,9	3,8	Caso 2	13,5
3.200	3,1	154,7	5,2E+07	49,9	3	49,9	3,6	Caso 2	13,5
8.000	0,9	37,8	1,3E+08	42,0	3	42,0	19,7	Caso 4	0,0
8.000	1,1	46,2	1,3E+08	42,0	3	42,0	15,8	Caso 4	0,0
8.000	1,5	63,0	1,3E+08	42,0	3	42,0	11,2	Caso 1	6,5
8.000	2,0	84,0	1,3E+08	42,0	3	42,0	8,0	Caso 1	11,0
8.000	3,0	126,0	1,3E+08	42,0	3	42,0	4,8	Caso 2	15,0
8.000	3,1	130,2	1,3E+08	42,0	3	42,0	4,6	Caso 2	15,5

c) **Parâmetros Funcionais**

Na seleção dos parâmetros funcionais, para efeito de planejamento e gerência da rede viária federal, foram selecionados como representativos a irregularidade longitudinal e o trincamento, isto porque:

- A irregularidade longitudinal é o parâmetro do pavimento que apresenta maior influência nos custos operacionais dos veículos e, portanto, é de fundamental importância para o planejamento e projeto de manutenção de uma rede viária;
- O grau de trincamento de um pavimento tem influência direta nos custos de correções de manutenção e permite identificar o momento em que a taxa de deterioração de um pavimento irá ocorrer de forma mais significativa em função da infiltração de água na infraestrutura.

Com relação aos parâmetros de irregularidade longitudinal, foi realizada a divisão em três faixas de forma a distinguir os pavimentos em suas condições:

- **Faixa 1: $IRI \leq 2,5$ m/km – Pavimento sem problemas funcionais (ótimo e bom);**
- **Faixa 2: $2,5 < IRI \leq 4$ m/km – Pavimento com certas deficiências funcionais (regular);**
- **Faixa 3: $IRI > 4$ m/km – Pavimento com grandes problemas funcionais (ruim).**

Utilizou-se, como referência para o cálculo da espessura de reforço funcional em função da irregularidade longitudinal, a norma do PRO 159/85, que é baseada em critérios de desempenho pavimento. O valor de IRI admissível adotado é de 2,25 m/km, que corresponde a 90% do IRI do padrão CREMA que é de 2,5m/km (com intervalo de confiança de 95%).

A Tabela 11 demonstra as espessuras mínimas a serem adotadas para cada faixa de irregularidade longitudinal.

Tabela 11 - Espessura de reforço pela norma DNER-PRO 159/85

	IRI (m/km)	QI (cont/km)	IRI adm (m/km)	QI adm (cont/km)	HR (cm)
Faixa 01	2,7	35	2,25	29	0,9
Faixa 02	3,0	39	2,25	29	1,6
	3,5	46	2,25	29	2,6
	4,0	52	2,25	29	3,7
Faixa 03	4,5	59	2,25	29	4,7
	5,0	65	2,25	29	5,8
	5,5	72	2,25	29	6,8
	6,0	73	2,25	29	7,0

Para a elaboração do catálogo de soluções do DNIT, os valores de trincamento foram separados em duas faixas:

- **Faixa 1: $TR \leq 10\%$ - Trincamento baixo, sem problemas funcionais;**
- **Faixa 2: $TR > 10\%$ – Trincamento que pode indicar problemas funcionais.**

A primeira faixa representa trechos com pouco ou nenhum trincamento, podendo ser associado aos mesmos uma baixa necessidade de correções superficiais ou simplesmente rejuvenescimento e impermeabilização da plataforma. Já a segunda faixa de valores está associada a pavimentos que requerem intervenções preliminares de maior vulto previamente as obras de recapeamento.

d) **Concepção da Matriz de Solução**

A matriz de solução deve ser analisada a partir da correspondência entre os parâmetros de tráfego, os parâmetros deflectométricos e os parâmetros funcionais. A elaboração da matriz com as faixas escolhidas para cada tipo de parâmetro tem o objetivo da obtenção da solução mais compatível e adequada para cada cenário ou segmento estudado.

De forma a facilitar a visualização e a justificativa de solução adotada para cada cenário, as células foram numeradas, conforme apresentado na Figura 5.

Condição Funcional		Tráfego	VMDc <= 800		800 < VMDc <= 1600		1600 < VMDc <= 2400			2400 < VMDc <= 3200			VMDc > 3200					
		Estrutura	Dc/Dadm <= 1,1	Dc/Dadm > 1,1	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	Dc/Dadm > 1,5	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2
IRI <= 2,5 m/km	TR <= 10	1111	1211	2111	2211	2311	3111	3211	3311	3411	4111	4211	4311	4411	5111	5211	5311	5411
	TR > 10	1112	1212	2112	2212	2312	3112	3212	3312	3412	4112	4212	4312	4412	5112	5212	5312	5412
2,5 m/km < IRI <= 4 m/km	TR <= 10	1121	1221	2121	2221	2321	3121	3221	3321	3421	4121	4221	4321	4421	5121	5221	5321	5421
	TR > 10	1122	1222	2122	2222	2322	3122	3222	3322	3422	4122	4222	4322	4422	5122	5222	5322	5422
IRI > 4 m/km	TR <= 10	1131	1231	2131	2231	2331	3131	3231	3331	3431	4131	4231	4331	4431	5131	5231	5331	5431
	TR > 10	1132	1232	2132	2232	2332	3132	3232	3332	3432	4132	4232	4332	4432	5132	5232	5332	5432

Figura 5 - Células do Catálogo de Soluções do DNIT

Esta elaboração da matriz de soluções foi realizada para os quatro cenários de dimensionamento estrutural em questão, conforme apresentado anteriormente. A Tabela 13 demonstra as espessuras mínimas a serem adotadas para cada faixa de deflexão:

Tabela 13: Síntese das espessuras de reforço pelas normas DNER-PRO 11 e PRO 269.

Espessuras de Reforço Necessárias													
VMD	Cenário		PRO-11			PRO-269			Síntese				
	N	Relação Dc/Dadm	Dc	Dadm	HR	Dc	Dadm	HR (cm)			HR (cm)		
			(0,01 mm)	(0,01 mm)	(cm)	(0,01 mm)	(0,01 mm)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Média	Mínimo	Máximo
800	1,3E+07	0,9	51,6	57,4	0,0	58,3	64,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		1,1	63,1	57,4	1,5	71,2	64,8	3,0	2,5	1,5	2,1	1,5	3,0
		1,5	86,1	57,4	7,0	97,2	64,8	7,0	7,0	5,5	6,6	5,5	7,0
		2,0	114,7	57,4	12,0	129,5	64,8	10,0	9,5	8,0	9,9	8,0	12,0
		3,0	172,1	57,4	19,0	194,3	64,8	12,5	12,5	11,0	13,8	11,0	19,0
		3,1	177,8	57,4	19,5	200,8	64,8	13,0	12,5	11,0	14,0	11,0	19,5
1.600	2,6E+07	0,9	45,7	50,8	0,0	51,2	56,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		1,1	55,9	50,8	1,5	62,5	56,9	3,0	2,5	1,0	2,0	1,0	3,0
		1,5	76,2	50,8	7,0	85,3	56,9	7,5	7,0	6,0	6,9	6,0	7,5
		2,0	101,6	50,8	12,0	113,7	56,9	10,5	10,5	9,0	10,5	9,0	12,0
		3,0	152,3	50,8	19,0	170,6	56,9	14,0	13,5	12,5	14,8	12,5	19,0
		3,1	157,4	50,8	19,5	176,2	56,9	14,0	14,0	12,5	15,0	12,5	19,5
2.400	3,9E+07	0,9	42,6	47,3	0,0	47,4	52,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		1,1	52,0	47,3	1,5	57,9	52,7	2,5	2,5	1,0	1,9	1,0	2,5
		1,5	70,9	47,3	7,0	79,0	52,7	7,5	7,5	6,0	7,0	6,0	7,5
		2,0	94,6	47,3	12,0	105,4	52,7	11,0	11,0	9,5	10,9	9,5	12,0
		3,0	141,8	47,3	19,0	158,0	52,7	14,5	14,5	13,0	15,3	13,0	19,0
		3,1	146,6	47,3	19,5	163,3	52,7	15,0	14,5	13,0	15,5	13,0	19,5
3.200	5,2E+07	0,9	40,5	44,9	0,0	44,9	49,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		1,1	49,4	44,9	1,5	54,9	49,9	2,5	2,0	1,0	1,8	1,0	2,5
		1,5	67,4	44,9	7,0	74,9	49,9	8,0	7,5	6,0	7,1	6,0	8,0
		2,0	89,9	44,9	12,0	99,8	49,9	11,5	11,0	10,0	11,1	10,0	12,0
		3,0	134,8	44,9	19,0	149,7	49,9	15,0	15,0	13,5	15,6	13,5	19,0
		3,1	139,3	44,9	19,5	154,7	49,9	15,5	15,0	13,5	15,9	13,5	19,5
8.000	1,3E+08	0,9	34,4	38,3	0,0	37,8	42,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		1,1	42,1	38,3	1,5	46,2	42,0	2,0	1,5	0,0	1,3	0,0	2,0
		1,5	57,4	38,3	7,0	63,0	42,0	8,0	8,0	6,5	7,4	6,5	8,0
		2,0	76,5	38,3	12,0	84,0	42,0	12,5	12,0	11,0	11,9	11,0	12,5
		3,0	114,8	38,3	19,0	126,0	42,0	17,0	16,5	15,0	16,9	15,0	19,0
		3,1	118,6	38,3	19,5	130,2	42,0	17,0	17,0	15,5	17,3	15,5	19,5

Posteriormente, a matriz foi preenchida com as soluções compatíveis para cada faixa adotada na planilha anterior, ou seja, considerando-se o VMD, a relação entre Dc/Dadm, o IRI e o trincamento. Foi possível estabelecer soluções para cada célula de análise da matriz, conforme justificativas apresentadas na sequência:

- Para as células **1111**, **2111**, **3111**, **4111**, **5111** adotou-se a solução de MICRO: não há problemas estruturais e funcionais;
- Para as células **1112**, **2112**, **3112**, **4112** adotou-se a solução de FSp + MICRO: não há problemas estruturais, a irregularidade longitudinal é baixa e os problemas de trincamento são sanados com a proposição de fresagem e recomposição;
- Para a célula **5112** adotou-se a solução de FSp + H4pol: não há problemas estruturais, a irregularidade longitudinal é baixa e os problemas de trincamento são sanados com a proposição de fresagem e recomposição e executa-se um recapeamento delgado com mistura de elevado desempenho em função do tráfego previsto;
- Para as células **1211**, **2211**, **3211** e **4211** adotou-se a solução de H4: pequenos problemas estruturais, baseados na tabela do PRO 011, cuja solução varia de 1,1 a 7,0 cm;

- Para as células 1221, 2221, 3221 e 4221 adotou-se a solução de H4: pequenos problemas estruturais, baseados na tabela do PRO 011, cuja solução varia de 1,1 a 7,0 cm. Adicionalmente, há pequenas deficiências funcionais, enquadrando-se na faixa 02 do PRO-159/85, cujo reforço varia de 0,9 a 3,7 cm;
- Para as células 2121, 3121, 4121 adotou-se a solução de H4: pequenas deficiências funcionais, enquadrando-se na faixa 02 do PRO-159/85;
- Para as células 1212, 2212, 3212 e 4212 adotou-se a solução de FSp + H4: pequenos problemas estruturais, baseados na tabela do PRO 011, cuja solução varia de 1,1 a 7,0 cm. Os problemas de trincamento são sanados com a proposição de fresagem e recomposição;
- Para as células 5211, 5121 e 5221 adotou-se a solução de H4pol: pequenos problemas estruturais, baseados na tabela do PRO 011, cuja solução varia de 1,1 a 7,0 cm. Devido ao elevado volume de tráfego justifica a utilização de polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração;
- Para as células 5112 e 5212 adotou-se a solução de FSp + H4pol: pequenos problemas estruturais, baseados na tabela do PRO 011, cuja solução varia de 1,1 a 7,0 cm. Devido ao elevado volume de tráfego justifica a utilização de polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração. O trincamento é sanado com a proposição de fresagem e recomposição;
- Para as células 2311, 2321 adotou-se a solução de H7: pavimento com problemas estruturais, com tráfego de veículos variando de baixo a médio;
- Para a célula 2312 adotou-se a solução de Fsp + H7: pavimento com problemas estruturais, com tráfego de veículos variando de baixo a médio. O trincamento é sanado com a proposição de fresagem e recomposição;
- Para as células 3311 e 3321 adotou-se a solução de H9: pavimento apresenta problemas estruturais, com tráfego de veículos médio. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas;
- Para a célula 3312 adotou-se a solução de Fsp + H9: pavimento apresenta problemas estruturais, com tráfego de veículos médio. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas. O trincamento é sanado com a proposição de fresagem e recomposição;
- Para a célula 3411 adotou-se a solução de H10: pavimento apresentando deficiência estrutural elevada, com tráfego de veículos médio. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas;
- Para a célula 3412 adotou-se a solução de Fsp + H10: pavimento apresentando deficiência estrutural de elevada a crítica, com volume de tráfego médio. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas. O trincamento é sanado com a proposição de fresagem e recomposição;
- Para a célula 3421 adotou-se a solução de H12: pavimento apresentando deficiência estrutural de elevada a crítica, com tráfego de veículos médio. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas. Adicionalmente, o valor de irregularidade longitudinal enquadra-se na faixa 02, que se caracteriza por apresentar certas deficiências funcionais;

- Para as células 4411, 4421, 5411 e 5421 adotou-se a solução de H10pol: pavimento apresentando deficiência estrutural de elevada a crítica. Devido ao elevado volume de tráfego justifica a utilização de polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração;
- Para as células 4412 e 5412 adotou-se a solução de Fsp + H10pol: pavimento apresentando deficiência estrutural elevada de elevada a crítica. Devido ao elevado volume de tráfego justifica a utilização de polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração. O trincamento é sanado com a proposição de fresagem e recomposição;
- Para as células 4311, 5311, 5321 e 4321 adotou-se a solução de H8pol: pavimento apresenta problemas estruturais. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas. Devido ao elevado volume de tráfego justifica a utilização de polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração.
- Para as células 4312 e 5312 adotou-se a solução de Fsp + H8pol: pavimento apresenta problemas estruturais. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas. Devido ao elevado volume de tráfego justifica a utilização de polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração. O trincamento é sanado com a proposição de fresagem e recomposição;
- Para a célula 1121 adotou-se a solução de REP + TSD: segmento sem problemas estruturais. Adota-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade que varia de média a alta. O TSD é adotado como camada final de rolamento, pois possui melhor macrotextura para o rolamento que a reperfilagem;
- Para a célula 1122 adotou-se a solução de Fsp + REP + TSD: segmento sem problemas estruturais. Adota-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade que varia de média a alta. O TSD é adotado como camada final de rolamento, pois possui melhor macrotextura para o rolamento que a reperfilagem. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para a célula 1222 adotou-se a solução de Fsp + REP + H4: segmento com volume de tráfego baixo, apresentando problemas estruturais, que baseados na tabela do PRO 011, a solução de reforço estrutural varia de 1,1 a 7,0 cm. Adicionalmente, há deficiências funcionais, adotando-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade que varia de média a alta. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para as células 2122 e 3122 adotou-se a solução de Fsp + TSD + H4: segmento com volume de tráfego variando de baixo a médio. Apresenta deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal considerados de médio a ruim, enquadrando-se na faixa 02 do PRO-159/85, justificando o reforço estrutural de 4 cm. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;

- Para as células 2222 e 3222 adotou-se a solução de Fsp +TSD + H5: segmento com volume de tráfego variando de baixo a médio. Apresenta pequenos problemas estruturais, que baseados na concepção do PRO 011 a solução varia de 1,1 a 7,0 cm. Adicionalmente possui deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal considerados de médio a ruim. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para a célula 2322 adotou-se a solução de Fsp +TSD + H7: pavimento com problemas estruturais, com volume de tráfego variando de baixo a médio. Possui deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal considerados de médio a ruim. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para a célula 3322 adotou-se a solução de Fsp +TSD + H9: pavimento com problemas estruturais, com volume de tráfego médio. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas. Possui deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal considerados de médio a ruim. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para a célula 1132 adotou-se a solução de FS3+TSD+H4: segmento com problemas funcionais críticos tanto de irregularidade longitudinal quanto de trincamento, propondo-se a fresagem total e recomposição. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento.
- Para as células 1131 e 1231 adotou-se a solução de REP+H4: adota-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade, pois esta se apresenta muito alta. A espessura adotada está em conformidade com a norma do PRO 159/85;
- Para as células 2131 e 3131 adotou-se a solução de REP+H5: adota-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade, pois esta se apresenta muito alta. O segmento caracteriza-se por apresentar volume médio de tráfego e a espessura de reforço adotada está em conformidade com a norma do PRO 159/85;
- Para a célula 4131 adotou-se a solução de REP+H5: adota-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade, pois esta se apresenta muito alta. O segmento caracteriza-se por apresentar elevado volume de tráfego e a espessura de reforço adotada está em conformidade com a norma do PRO 159/85;
- Para as células 2231, 3231 e 4231 adotou-se a solução de REP+H6: pavimento com deficiências funcionais e estruturais. Adota-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade, pois esta se apresenta muito alta. A espessura adotada tem o intuito de proteger o subleito, pois as deflexões estão regulares;
- Para a célula 2331 adotou-se a solução de REP+H8: pavimento com problemas estruturais, com volume de tráfego variando de baixo a médio. Possui deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal elevados, adotando-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade. A espessura adotada tem o intuito de proteger o subleito, pois as deflexões estão elevadas;

- Para a célula 3331 adotou-se a solução de REP + H10: pavimento com problemas estruturais, com volume de tráfego médio. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas. Possui deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal elevados, adotando-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade;
- Para as células 4122 e 4222 adotou-se a solução de Fsp +TSD + H5: segmento com alto volume de tráfego. Apresenta pequenos problemas estruturais, que baseados na concepção do PRO 011 a solução varia de 1,1 a 7,0 cm. Adicionalmente possui deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal considerados de médio a ruim, justificando o reforço estrutural de 5cm. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para as células 4322 e 5322 adotou-se a solução de Fsp +TSD + H8pol: pavimento apresenta problemas estruturais. A solução de reforço está compatível com o preconizado nas normas. O elevado volume de tráfego justifica a utilização de polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para a célula 2132 adotou-se a solução de Fsp +TSD + H5: segmento com volume de tráfego variando de baixo a médio. Apresenta críticas deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal elevados, justificando o reforço estrutural de 5cm. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas para o revestimento. Adota-se a fresagem total do pavimento devido aos altos valores de trincamento e irregularidade;
- Para a célula 2232 adotou-se a solução de Fsp +TSD + H6: segmento com volume de tráfego variando de baixo a médio. Apresenta críticas deficiências funcionais e estruturalmente, o pavimento apresenta condições deflectométrica ruins. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas para o revestimento. Adota-se a fresagem total do pavimento devido aos altos valores de trincamento e irregularidade;
- Para as células 3132 e 4132 adotou-se a solução de Fs5 +TSDpol + H5: segmento com volume de tráfego variando de médio a alto. Possui deficiências funcionais, com valores críticos de irregularidade longitudinal e trincamento, justificando o reforço estrutural de 5cm. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem total e recomposição;
- Para as células 3232 e 4232 adotou-se a solução de Fs5 +TSDpol + H6: segmento com volume de tráfego variando de médio a alto. Estruturalmente, o pavimento apresenta condições deflectométricas ruins. Possui deficiências funcionais, com valores críticos de irregularidade longitudinal e trincamento. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem total e recomposição;

- Para as células 5122 e 5222 adotou-se a solução de Fsp +TSD + H4pol: pequenos problemas estruturais, cuja solução varia de 1,1 a 7,0 cm, sendo a norma do PRO-11/79. Devido ao elevado volume de tráfego e deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal variando de médio e alto, justifica-se a utilização de reforço estrutural com polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para a célula 5131 adotou-se a solução de REP+H5pol: adota-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade, pois esta apresenta-se muito alta. O segmento caracteriza-se por apresentar elevado volume de tráfego, a espessura de reforço adotada está em conformidade com a norma do PRO 159/85 e a utilização de polímero é justificada haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência a tração;
- Para a célula 5231 adotou-se a solução de REP+H6pol: adota-se a reperfilagem como camada niveladora da irregularidade, pois esta se apresenta muito alta. O segmento caracteriza-se por apresentar elevado volume de tráfego, com características estruturais regulares, e deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinais elevados, sendo que a utilização de polímero no reforço estrutural de 6cm é justificada, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência a tração;
- Para a célula 5132 adotou-se a solução de Fs5 +TSD + H4pol: pequenos problemas estruturais, cuja solução varia de 1,1 a 7,0 cm, sendo a norma do PRO-11/79. Devido ao elevado volume de tráfego e deficiências funcionais, com valores de irregularidade longitudinal elevados, justifica-se a utilização de polímero, haja vista que a adição deste aumenta a durabilidade da estrutura, melhorando sua resistência à tração. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem parcial e recomposição;
- Para a célula 1232 adotou-se a solução de Fs5 +TSDpol + H6: m função o baixo volume de tráfego não são propostas soluções de reconstrução total. Estruturalmente, o pavimento apresenta condições deflectométricas ruins. Possui deficiências funcionais, com valores críticos de irregularidade longitudinal e trincamento. O TSD é proposto como camada de bloqueio de reflexão de trincas da base para o revestimento. Os problemas funcionais de trincamento são sanados com a execução de fresagem total e recomposição
- Para a célula 2332 adotou-se a solução de REC3: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões, trincamento e irregularidades longitudinais elevados;
- Para as células 3431, 3432, 3332 adotou-se a solução de REC4: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões e irregularidades longitudinais altas;
- Para a célula 3422 adotou-se a solução de REC4: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões e trincamento altos, além de irregularidade longitudinal regular.

- Para as células 4332, 4432 adotou-se a solução de REC4: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões, trincamento e irregularidades longitudinais elevados;
- Para as células 4331, 4431 adotou-se a solução de REC4: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões e irregularidades longitudinais altas.
- Para a célula 4422 adotou-se a solução de REC4: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões e trincamento altos, além de irregularidade longitudinal regular.
- Para a célula 5422 adotou-se a solução de REC5: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões e trincamento altos, além de irregularidade longitudinal regular;
- Para as células 5331, 5431 adotou-se a solução de REC5: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões e irregularidades longitudinais altas;
- Para as células 5232, 5332 e 5432 adotou-se a solução de REC6: propõe-se a reconstrução do pavimento devido à elevada deficiência estrutural e funcional, com deflexões, trincamento e irregularidade longitudinal elevada.

e) **Catálogo de Solução do DNIT**

Face às considerações expostas anteriormente, o catálogo de soluções proposto para a recuperação dos pavimentos do DNIT é apresentado na Figura 6, sendo o mesmo apresentado com espessuras que atendem na média ao dimensionamento pelo método DNER-PRO 11.

Tráfego		VMDc <= 800		800 < VMDc <= 1600			1600 < VMDc <= 2400				2400 < VMDc <= 3200				VMD > 3200			
		Estrutura		Dc/Dadm <= 1,1	Dc/Dadm > 1,1	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	Dc/Dadm > 1,5	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5	1,5 < Dc/Dadm <= 2	Dc/Dadm > 2	Dc/Dadm <= 1,1	1,1 < Dc/Dadm <= 1,5
IRI <= 2,5 m/km	TR <= 10	Mi	H4	Mi	H4	H7	Mi	H4	H9	H10	Mi	H4	Hpol8	Hpol10	Mi	Hpol4	Hpol8	Hpol10
	TR > 10	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+H7	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+H9	FSp+H10	FSp+Mi	FSp+H4	FSp+Hpol8	FSp+Hpol10	FSp+Hpol4	FSp+Hpol4	FSp+Hpol8	FSp+Hpol10
2,5 m/km < IRI <= 4 m/km	TR <= 10	REP+TSD	H4	H4	H4	H7	H4	H4	H9	H12	H4	H4	Hpol8	Hpol10	Hpol4	Hpol4	Hpol8	Hpol10
	TR > 10	FSp+REP+TSD	FSp+REP+H4	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H7	FSp+TSD+H4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H9	REC4	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+H5	FSp+TSD+Hpol8	REC4	FSp+TSDpol+Hpol4	FSp+TSDpol+Hpol4	FSp+TSDpol+Hpol8	REC6
IRI > 4 m/km	TR <= 10	REP+H4	REP+H4	REP+H5	REP+H6	REP+H8	REP+H5	REP+H6	REP+H10	REC4	REP+H5	REP+H6	REC4	REC4	REP+Hpol5	REP+Hpol6	REC5	REC6
	TR > 10	FS3+TSD+H4	FS5+TSD+H6	FS5+TSD+H5	FS5+TSD+H6	REC3	FS5+TSDpol+H5	FS5+TSDpol+H6	REC4	REC4	FS5+TSDpol+H5	FS5+TSDpol+H6	REC4	REC4	FS5+TSDpol+Hpol4	REC5	REC5	REC6

Figura 6 - Catálogo de Soluções do DNIT

Parâmetros de entrada:

IRI: Irregularidade Longitudinal (mm/m)

TR: Percentual da área trincada (%)

VMDc: Volume médio diário de tráfego, bidirecional

Dc: Deflexão característica (0,02 mm)

Dadm: Deflexão admissível (0,02 mm), determinado pelo método PRO-11

Soluções:

Mi: Micro revestimento asfáltico a frio

H"X": Reforço estrutural em concreto asfáltico com "X" cm de espessura

Hpol"X": Reforço estrutural em concreto asfáltico modificado por polímero com "X"cm de espessura

REP: Reperfilagem com aplicação de concreto asfáltico com 2cm de espessura

FS: Fresagem contínua e 5cm de espessura com reposição em 5cm em concreto asfáltico

FSp: Fresagem parcial - descontínua, de 5cm de espessura nas áreas trincadas com reposição de 5cm em concreto asfáltico

TSD: Tratamento superficial duplo

TSDpol: Tratamento superficial duplo com emulsão modificada por polímero

REC"X": Reconstrução, em que "X" varia de 1 a 5, ou seja, em cinco cenários distintos das soluções de reconstrução - em conformidade com o catálogo sugerido para pavimentos novos

Observa-se que, na concepção deste catálogo, foram consideradas as seguintes premissas técnicas:

- Foi considerada a espessura mínima de reforço em concreto asfáltico de 4 cm;
- Em todas as soluções considerou-se que o recapeamento deve ser estendido para os acostamentos a fim de não se criar (ou aumentar) o degrau em relação a pista;
- Considerou-se uso obrigatório de ligante modificado por polímero em soluções de reforço estrutural nas quais o VMDC é superior a 3.200, bem como em segmentos com tráfego nas faixas intermediárias e condição estrutural crítica;

Neste ponto o catálogo gerencial contempla os benefícios técnicos associados a execução de concreto asfáltico modificado por polímero em detrimento as misturas convencionais, em especial: o aumento da flexibilidade e elasticidade às baixas temperaturas; a melhoria da resistência à fluência, trincas e deformações permanentes a altas temperaturas; a menor sensibilidade do módulo de rigidez a variações de temperaturas; o aumento da resistência a tração e melhores resultados em termos de vida de fadiga. Em termos numéricos foram considerados os ganhos pelo emprego deste tipo de material tal como atribuído na Instrução de Serviço Nº 007, de 15 de Abril de 1998, do DNER/DNIT.

Na adoção deste catálogo, recomenda-se:

- A previsão de reparos superficiais e profundos;
- A fresagem parcial e recomposição das áreas deterioradas previamente às soluções de recapeamento (atividade desnecessária nas soluções de reconstrução, reciclagem e fresagem total);
- Para locais com espessura de revestimento asfáltico elevada, superior a 15 cm, recomenda-se estudar o emprego de soluções alternativas de reciclagem e/ou fresagens profundas;
- Recomenda-se buscar os dados históricos de intervenções na rodovia, desde a sua implantação, passando pelas atividades de manutenção especial e rotineira, de forma a adequar as soluções planejadas às reais necessidades da rodovia;
- É importante verificar se há no segmento situações excepcionais de cargas que podem levar a esforços pontuais de maior impacto, estudando-se soluções especiais para estes casos.
- Para estudos mais detalhados, ou mesmo emprego de outros métodos de dimensionamento, no âmbito do planejamento e gerência viária, pode-se estimar o módulo in situ do subleito a partir das informações da bacia de deflexão medida com o FWD e utilizando-se a correlação da AASHTO, com emprego do fator de correção, sendo associados os seguintes conceitos a subleito:
 - Módulo de resiliência de até 600 kgf/cm² = subleito tipo III;
 - Módulo de resiliência entre 600 e 1.300 kgf/cm² = subleito tipo II;
 - Módulo de resiliência acima 1.300 kgf/cm² = subleito tipo I.

Estes valores de módulo foram obtidos a partir dos estudos realizados por Preussler (1983) associados a valores de tensão desvio da ordem de 1,0 kgf/cm².

Por fim, é válido o conceito de “soluções alternativas e/ou equivalentes”, ou seja, soluções que constituem tipos de obras de recuperação do pavimento que podem substituir os tipos especificados nas matrizes, e que apresentam desempenho técnico compatível com as necessidades locais. Dentre as soluções alternativas e/ou equivalentes que podem ser estudadas destacam-se:

- i) As obras tipo MICRO referenciadas poderão ser substituídas por Tratamento Superficial Duplo com Ligantes Asfálticos Modificados – TSDp.
- ii) Constituem soluções de recuperação do pavimento, para quaisquer soluções indicadas no Catálogo, recapeamentos com camada de CBUQp - Concreto Betuminoso usinado a quente, com ligantes modificados dos tipos: SMA (*Stone Matrix Asphalt*) e Micro a quente. Sendo todas em conformidade com as especificações do DNIT, observando-se as necessidades prévias de correções geométricas por fresagens, impermeabilizações e camadas de bloqueio de trincas.
- iii) A Fresagem e Recomposição poderá ser substituída pela Reciclagem do Revestimento (RR), in situ ou em usina.
- iv) O emprego de concreto asfáltico modificado por polímero ou por borracha pode ser utilizado em substituição ao concreto asfáltico com ligante convencional com ganhos de resistência e de vida de fadiga.
- v) O emprego de concreto asfáltico modificado por polímero pode ser substituído pelo concreto asfáltico modificado por borracha.
- vi) Em segmentos com elevado grau de deterioração do revestimento, em especial trincamento, podem ser empregadas soluções integradas com SAMI ou Grelhas precedendo o recapeamento asfáltico.
- vii) As soluções de Reconstrução foram contempladas no catálogo por serem de emprego universal na correção dos problemas, mas podem ser substituídas por soluções de reciclagem profunda, *in situ* ou em usina, desde que justificada em estudos específicos associados aos materiais existentes e condições técnicas e operacionais locais.

A matriz de solução proposta para a reconstrução do pavimento existente está fundamentada em parâmetros de tráfego e na condição estrutural do subleito, de forma a se ter soluções de pavimentação que atendam ao estabelecido no Método de dimensionamento do Pavimento Novo do DNIT.

O CBR do subleito deve ser determinado por ensaios, pesquisas ou correlações, por ser um dos parâmetros imprescindíveis que definem as espessuras das camadas no método de dimensionamento do DNIT.

Em termos de tráfego, o número “N” - pelo critério USACE, calculado com base no VDM da rodovia para o horizonte de projeto de 10 anos, foi dividido em cinco cenários:

- **Cenário 1** $N < 5,0 \times 10^6$
- **Cenário 2:** $5,0 \times 10^6 \leq N < 1,0 \times 10^7$
- **Cenário 3:** $1,0 \times 10^7 \leq N < 2,0 \times 10^7$
- **Cenário 4:** $2,0 \times 10^7 \leq N < 5,0 \times 10^7$
- **Cenário 5:** $5,0 \times 10^7 \leq N < 1,0 \times 10^8$
- **Cenário 6:** $N \geq 1,0 \times 10^8$

No presente estudo, está sendo proposta a implantação de pavimentos flexíveis e pavimentos semirrígidos. Os pavimentos flexíveis são propostos para as vias com Número “N” inferior a $5,0 \times 10^7$, enquanto que os semirrígidos para pavimentos com Número “N” igual ou superior a esse valor, conforme recomendação da Instrução de Projeto de Pavimentação do Departamento de Estradas de Rodagem (DER) de São Paulo, visto que não há uma definição clara nas normas do DNIT a respeito dos critérios para a utilização do pavimento semirrígido.

O emprego de materiais naturais exige estudos específicos de fontes de materiais e caracterização das mesmas, sendo que para se ter um catálogo referencial cujo emprego possa ser realizado de forma mais ampla e irrestrita optou-se pela utilização de material pétreo britado nas situações de tráfego equivalente de projeto superior a $1,0 \times 10^7$.

Adicionalmente, preveem-se as espessuras mínimas de revestimentos conforme especificado no método do DNIT, com a consideração adicional do emprego de ligante com polímero para os trechos com tráfego superior a $1,0 \times 10^8$.

Para estes cenários de tráfego, e os com duas hipóteses de materiais típicos para o subleito, foram dimensionados pavimentos novos pelo método do DNIT, sendo o catálogo apresentado na Figura 7 e a memória de cálculo apresentada na sequência.

Matriz de Solução de Reconstrução / Pavimento Novo							
Duplicação	Tráfego N USACE	Código	Revestimento	Tratamento Superficial	Base	Sub-base	Reforço
Pavimento Flexível	$N < 5,00E+06$	REC1	5 cm de CBUQ	Impr + PL	Solo Estab. 20 cm	Solo 20 cm	20 cm se CBR < 6%
	$5,00E+06 \leq N < 1,00E+07$	REC2	7,5 cm de CBUQ	Impr + PL(2x)			
	$1,00E+07 \leq N < 2,00E+07$	REC3	10 cm de CBUQ	Impr + PL(2x)	BGS 15 cm		
	$2,00E+07 \leq N < 5,00E+07$	REC4	10 cm de CBUQ	Impr + PL(2x)	BGS 20 cm		
Pavimento Semi Rígido	$5,00E+07 \leq N < 1,00E+08$	REC5	12,5 cm de CBUQ	Impr + TSD + PL(3x)	BGTC 20 cm	BGS 20 cm	20 cm se CBR < 5%
	$1,00E+08 \leq N$	REC6	12,5 cm de CBUQp	Impr + TSD + PL(3x)			

Legenda:	
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CBUQp	Concreto Betuminoso Usinado a Quente com polímero
BGS	Brita Graduada Simples
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
SB	Solo-Brita
Reforço	Rachão / Solo Estabilizado
Impr	Imprimação
PL	Pintura de Ligação
PLp	Pintura de Ligação com polímero
TSD	Tratamento Superficial Duplo

Figura 7 - Catálogo de Soluções de Pavimentação do DNIT

Nota1: para as situações de tráfego baixo podem ser estudadas alternativas empregando TSD como camada de rolamento.

Nota2: para as situações de tráfego elevado podem ser estudadas alternativas empregando pavimento rígido.

Método do DNIT - Cenário 1

CBR baixo (<6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	5,00E+06
	CBR	(%)	5

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	27,2
	H ₁₂	(cm)	37,0
	H _{proj.}	(cm)	62,4

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	5	2,0	10,0	10,0	27,2	SIM
	Solo estab.	20	1,0	20,0	30,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	50,0	37,0	SIM
Reforço	Solo	20	0,8	16,0	66,0	62,4	SIM

CBR intermediário (>6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	5,00E+06
	CBR	(%)	8

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	27,2
	H ₈	(cm)	47,1
	H _{proj.}	(cm)	47,1

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	5	2,0	10,0	10,0	27,2	SIM
	Solo estab.	20	1,0	20,0	30,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	50,0	47,1	SIM
Reforço	Solo		0,8	0,0	50,0	47,1	SIM

Figura 8 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 1

Método do DNIT - Cenário 2

CBR baixo (<6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	1,00E+07
	CBR	(%)	5

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	28,2
	H ₁₂	(cm)	38,2
	H _{proj.}	(cm)	64,5

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	7,5	2,0	15,0	15,0	28,2	SIM
	Solo estab.	20	1,0	20,0	35,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	55,0	38,2	SIM
Reforço	Solo	20	0,8	16,0	71,0	64,5	SIM

CBR intermediário (>6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	1,00E+07
	CBR	(%)	8

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	28,2
	H ₈	(cm)	48,7
	H _{proj.}	(cm)	48,7

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	7,5	2,0	15,0	15,0	28,2	SIM
	Solo estab.	20	1,0	20,0	35,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	55,0	48,7	SIM
Reforço	Solo		0,8	0,0	55,0	48,7	SIM

Figura 9 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 2

Método do DNIT - Cenário 3

CBR baixo (<6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	2,00E+07
	CBR	(%)	5

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	29,1
	H ₁₂	(cm)	39,5
	H _{proj.}	(cm)	66,7

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	10,0	2,0	20,0	20,0	29,1	SIM
Base	BGS	15	1,0	15,0	35,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	55,0	39,5	SIM
Reforço	Solo	20	0,8	16,0	71,0	66,7	SIM

CBR intermediário (>6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	2,00E+07
	CBR	(%)	8

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	29,1
	H ₈	(cm)	50,4
	H _{proj.}	(cm)	50,4

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	10,0	2,0	20,0	20,0	29,1	SIM
Base	BGS	15	1,0	15,0	35,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	55,0	50,4	SIM
Reforço	Solo		0,8	0,0	55,0	50,4	SIM

Figura 10 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT – Cenário3

Método do DNIT - Cenário 4

CBR baixo (<6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	5,00E+07
	CBR	(%)	5

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	30,4
	H ₁₂	(cm)	41,3
	H _{proj.}	(cm)	69,7

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	10,0	2,0	20,0	20,0	30,4	SIM
Base	BGS	20	1,0	20,0	40,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	60,0	41,3	SIM
Reforço	Solo	20	0,8	16,0	76,0	69,7	SIM

CBR intermediário (>6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	5,00E+07
	CBR	(%)	8

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	30,4
	H ₈	(cm)	52,6
	H _{proj.}	(cm)	52,6

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	10,0	2,0	20,0	20,0	30,4	SIM
Base	BGS	20	1,0	20,0	40,0		
Sub-base	Solo	20	1,0	20,0	60,0	52,6	SIM
Reforço	Solo		0,8	0,0	60,0	52,6	SIM

Figura 11 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 4

Método do DNIT - Cenário 5

CBR baixo (<5%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	1,00E+08
	CBR	(%)	4

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	31,5
	H ₁₂	(cm)	42,7
	H _{proj.}	(cm)	82,4

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	12,5	2,0	25,0	25,0	31,5	SIM
	TSD	2	0,0	0,0	25,0		
Base	BGTC	20	1,4	28,0	53,0		
Sub-base	BGS	20	1,0	20,0	73,0	42,7	SIM
Reforço	Solo	20	0,8	16,0	89,0	82,4	SIM

CBR intermediário (>6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	1,00E+08
	CBR	(%)	7

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	31,5
	H ₇	(cm)	59,0
	H _{proj.}	(cm)	59,0

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQ	12,5	2,0	25,0	25,0	31,5	SIM
	TSD	2	0,0	0,0	25,0		
Base	BGTC	20	1,4	28,0	53,0		
Sub-base	BGS	20	1,0	20,0	73,0	59,0	SIM
Reforço	Solo		0,8	0,0	73,0	59,0	SIM

Figura 12 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 5

Método do DNIT - Cenário 6

CBR baixo (<5%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	2,00E+08
	CBR	(%)	4

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	32,5
	H ₁₂	(cm)	44,2
	H _{proj.}	(cm)	85,2

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQp	12,5	2,0	25,0	25,0	32,5	SIM
	TSD	2	0,0	0,0	25,0		
Base	BGTC	20	1,4	28,0	53,0		
Sub-base	BGS	20	1,0	20,0	73,0	44,2	SIM
Reforço	Solo	20	0,8	16,0	89,0	85,2	SIM

CBR intermediário (>6%)

Dados de Entrada	N	(operações do eixo padrão)	2,00E+08
	CBR	(%)	7

Parâmetros a verificar	H ₂₀	(cm)	32,5
	H ₇	(cm)	61,0
	H _{proj.}	(cm)	61,0

Dimensionamento	Material	H (cm)	K	H _{eq.} (cm)	H _{acum.} (cm)	H _{mínimo} (cm)	Aceito
Revestimento	CBUQp	12,5	2,0	25,0	25,0	32,5	SIM
	TSD	2	0,0	0,0	25,0		
Base	BGTC	20	1,4	28,0	53,0		
Sub-base	BGS	20	1,0	20,0	73,0	61,0	SIM
Reforço	Solo	20	0,8	0,0	73,0	61,0	SIM

Figura 13 - Memória de Cálculo das Soluções de Pavimentação do DNIT - Cenário 6