

# ***DNIT***

**Publicação IPR – 749**

## **GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS EXPERIMENTAIS – PRO-MeDiNa**

**2ª Edição  
BRASÍLIA  
2023**

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES**

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**

**DIRETORIA-GERAL**

**DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA**

**INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES**

MINISTRO DOS TRANSPORTES  
José Renan Vasconcelos Calheiros Filho

DIRETOR-GERAL SUBSTITUTO – DNIT  
Fabrício de Oliveira Galvão

DIRETOR DE PLANEJAMENTO E PESQUISA  
Luiz Guilherme Rodrigues de Mello

COORDENADOR-GERAL DO IPR  
Luiz Heleno de Albuquerque Filho

**GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS  
EXPERIMENTAIS – PRO-MeDiNa**

## **SEGUNDA EDIÇÃO – BRASÍLIA, 2023**

### **EQUIPE TÉCNICA:**

Engº Nelson Wargha Filho – (DNIT/DPP/IPR)

Engº Alex Duarte de Oliveira – (Consórcio STE-SIMEMP)

Engª Lara Cordeiro Pintangui – (Consórcio STE-SIMEMP)

Engª Emmanuelle Stefânia Holdefer Garcia – (Consórcio STE-SIMEMP)

### **COMISSÃO DE SUPERVISÃO:**

Engª Simoneli Fernandes Mendonça – (DNIT/DPP/IPR)

### **COLABORADOR TÉCNICO:**

Prof. Engº Deividi da Silva Pereira – (GEPPASV/UFSM)

Engº Lucas Dotto Bueno – (GEPPASV/UFSM)

Prof. Engº Luciano Pivoto Specht – (GEPPASV/UFSM)

## **PRIMEIRA EDIÇÃO – BRASÍLIA, 2020**

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria-Geral. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas em Transportes.

Guia para Execução de Segmentos Experimentais – PRO - MeDiNa. 2ª Edição – Brasília - DF. – 2023. 86p. (IPR. Publicação – 749)

1. Pavimentação – Manuais. I. Série. II. Título.

Reprodução permitida desde que citado o DNIT como fonte.

Impresso no Brasil / *Printed in Brazil*

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES**  
**DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**  
**DIRETORIA-GERAL**  
**DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA**  
**INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES**

**Publicação IPR – 749**

**GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS  
EXPERIMENTAIS – PRO-MeDiNa**

2ª Edição  
Brasília  
2023

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT  
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT  
DIRETORIA-GERAL – DG  
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA – DPP  
INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES – IPR

Setor de Autarquias Norte  
Quadra 03 Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes  
CEP 70040-902 – Brasília – DF  
Telefone: (61) 3315-4831  
E-mail: [ipr@dnit.gov.br](mailto:ipr@dnit.gov.br)

TÍTULO: GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS EXPERIMENTAIS – PRO-  
MeDiNa

Elaboração: DNIT/IPR  
Aprovado pela Diretoria Colegiada do DNIT em 06/06/2023 (Relato 76/2023)  
Processo nº 50600.000177/2020-77

## **APRESENTAÇÃO**

O Guia para Execução de Segmentos Experimentais – PRO-MeDiNa tem como objetivo orientar a implantação e o monitoramento dos segmentos experimentais, visando avaliar o comportamento do pavimento e o aperfeiçoamento da calibração do MeDiNa.

Buscando padronizar os segmentos experimentais a serem construídos, este Guia estabelece os passos a serem realizados, tanto nas etapas de planejamento e de execução, quanto na etapa de monitoramento do pavimento ao longo de sua vida útil.

O procedimento para implantação dos segmentos experimentais do programa PRO-MeDiNa se divide em três fases: construção, monitoramento e tratamento dos dados.

A primeira fase se refere à construção do segmento experimental e será dividida em duas etapas: estudos preliminares, com a coleta de dados relevantes; e execução, composta pela caracterização e avaliação dos materiais obtidos no momento de sua aplicação em campo e pelo controle de execução através de ensaios.

A segunda fase, de monitoramento, consiste na avaliação das condições funcional e estrutural dos pavimentos e dos efeitos climáticos e do tráfego no desempenho do segmento.

Por fim, na terceira fase, ocorre o tratamento dos dados coletados. A partir deles, são realizadas as análises dos resultados obtidos em campo juntamente com aqueles gerados pelo MeDiNa, de modo a aperfeiçoar a função de transferência do método.

A partir dessas premissas, será possível construir um banco de dados, composto pelas informações de caracterização dos materiais presentes nos segmentos experimentais e pelos levantamentos de campo, fornecendo, assim, subsídios para o aprimoramento da calibração do MeDiNa.

Nesta 2ª edição buscou-se aprimorar as recomendações quanto à execução dos ensaios laboratoriais e de levantamentos de campo. Foi realizada a atualização de documentos normativos e de informações relacionadas à coleta de materiais, além de um melhor detalhamento dos procedimentos de monitoramento pós-execução, com o propósito de contribuir de maneira mais efetiva para o êxito dos trechos experimentais.

**Luiz Heleno de Albuquerque Filho**  
**Coordenador-Geral do IPR**

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AT (%)	Percentual de Área Trincada
ATR	Afundamento nas Trilhas de Roda
BBR	<i>Bending Beam Rheometer</i>
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CE	Centro
CP	Corpo de Prova
CPs	Corpos de Prova
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DPP	Diretoria de Planejamento e Pesquisa
DSR	<i>Dynamic Shear Rheometer</i>
FN	<i>Flow Number</i>
FFL	Fator de Fadiga de Ligantes
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GEPPASV	Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária
HS	<i>Hauter au Sable</i> (profundidade média da mancha de areia)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPR	Instituto de Pesquisas em Transportes
IRI	<i>International Roughness Index</i>
IST	Índice de Suscetibilidade Térmica
LAS	<i>Linear Amplitude Sweep</i>
LVE	Caracterização Linear Viscoelástica
MCT	Miniatura Compactada Tropical
MeDiNa	Método de Dimensionamento Nacional
MR, Mr	Módulo de Resiliência ou Módulo Resiliente
MSCR	<i>Multiple Stress Creep and Recovery</i>
NBR	Norma Brasileira
PAV	<i>Pressurized Aging Vessel</i>
PG	<i>Performance Grade</i>
PMF	Pré-Misturado a Frio
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
RT	Resistência à Tração
RTFOT	<i>Rolling Thin-film Oven Test</i>
SAMI	<i>Stress Absorber Membran Interlayer</i>
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i>
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (2000)
SSR	<i>Stress Sweep Ruting</i>
SUPERPAVE	<i>Superior Performance Pavement</i>
S-VECD	<i>Simplified Viscoelastic Continuum Damage</i>
Tar	Temperatura do Ar
TPav	Temperatura da Superfície do Pavimento
TE	Trilha Externa
TI	Trilha Interna

TRE	Trilha de Roda Externa
TRI	Trilha de Roda Interna
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
VB	Viga <i>Benkelman</i>
VMD	Volume Médio Diário
VRD	Valor de Resistência à Derrapagem

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma das etapas do programa PRO-MeDiNa .....	15
Figura 2 – Rodovia de pista simples por sentido .....	19
Figura 3 – Rodovia com mais de uma pista por sentido.....	20
Figura 4 – Placa modelo do PRO-MeDiNa .....	23
Figura 5 – Modelo de etiqueta para coleta de material (exemplo) .....	28
Figura 6 – Localização dos pontos de coleta de material.....	29
Figura 7 – Armazenamento de misturas asfálticas usinadas .....	31
Figura 8 – Recipiente para armazenamento de ligantes asfálticos.....	32
Figura 9 – Levantamento defletoométrico na TRE com o FWD, pista simples .....	56
Figura 10 – Levantamento defletoométrico na TRE com o FWD, pista dupla .....	57
Figura 11 – Execução do levantamento dos defeitos (Fonte: Bueno, 2019) .....	60
Figura 12 – Sistema de locação de defeitos no pavimento .....	61
Figura 13 – Treliça para a medição do afundamento de trilha de rodas.....	62
Figura 14 – Medição das ocorrências na superfície do segmento. ....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições do pavimento pré-reabilitação (exemplo) .....	24
Tabela 2 – Características geométricas e de georreferenciamento do segmento monitorado (exemplo) .....	26
Tabela 3 – Informações necessárias referentes aos solos empregados nos segmentos monitorados (exemplo).....	38
Tabela 4 – Informações necessárias referentes aos materiais granulares empregados nos segmentos monitorados (exemplo).....	38
Tabela 5 – Informações necessárias referentes aos materiais estabilizados quimicamente empregados nos segmentos monitorados (exemplo).....	40
Tabela 6 – Ensaios obrigatórios referentes às misturas asfálticas (exemplo) .....	42
Tabela 7 – Curvas mestras de módulo dinâmico $ E^* $ e ângulo de fase $\delta$ (valores exemplificativos).....	44
Tabela 8 – Curvas mestras e Coeficientes de translação do princípio de superposição tempo-temperatura; Parâmetros “ $\alpha$ ” de evolução do dano; coeficientes de regressão das curvas características de dano pelo critério do $G^R$ (exemplo).....	45
Tabela 9 – Shift Model do ensaio SSR para avaliação de deformação permanente em misturas asfálticas (exemplo).....	46
Tabela 10 – Caracterização obrigatória de ligantes asfálticos (exemplo).....	47
Tabela 11 – Caracterização avançada de ligantes asfálticos (exemplo) .....	49
Tabela 12 – Ficha Horária de Contagem de Tráfego (exemplo) .....	53
Tabela 13 – Distribuição horária do tráfego (exemplo).....	55
Tabela 14 – Tabela resumo das condições estruturais do segmento experimental com o FWD (exemplo) .....	58
Tabela 15 – Tabela resumo das condições funcionais do segmento experimental (exemplo).....	59
Tabela 16 – Tabela resumo das condições de um segmento experimental em termos de AT % e ATR (exemplo) .....	63
Tabela 17 – Resumo dos levantamentos de monitoramento (pós-execução) .....	65

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	DEFINIÇÕES .....	19
3	ESTUDOS PRELIMINARES .....	22
3.1	ESCOLHA DO SEGMENTO EXPERIMENTAL .....	22
3.2	CLIMA .....	25
3.3	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E GEORREFERENCIAMENTO .....	25
3.4	TRÁFEGO .....	26
4	EXECUÇÃO DO SEGMENTO EXPERIMENTAL .....	26
4.1	COLETA DE AMOSTRAS .....	27
4.1.1	SOLOS E MATERIAIS GRANULARES .....	29
4.1.2	MATERIAIS ESTABILIZADOS QUIMICAMENTE .....	29
4.1.3	MISTURAS ASFÁLTICAS .....	30
4.1.4	LIGANTES ASFÁLTICOS .....	32
4.2	ASPECTOS CONSTRUTIVOS .....	33
4.3	ENSAIOS LABORATORIAIS .....	35
4.3.1	SOLOS E MATERIAIS GRANULARES .....	35
4.3.2	MATERIAIS ESTABILIZADOS QUIMICAMENTE .....	38
4.3.3	MISTURAS ASFÁLTICAS .....	41
4.3.4	LIGANTES ASFÁLTICOS .....	46
5	MONITORAMENTO DO CLIMA .....	52
6	MONITORAMENTO DO TRÁFEGO .....	53
6.1	LEVANTAMENTO DETALHADO DAS CLASSES DE VEÍCULOS .....	53
7	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PISTA .....	55
7.1	AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO .....	55
7.2	AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO .....	58
7.3	LEVANTAMENTO DE DEFEITOS .....	59
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	69
	ANEXO A. ....	71
	ANEXO B. ....	73
	ANEXO C. ....	76
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78

## 1 INTRODUÇÃO

## 1 INTRODUÇÃO

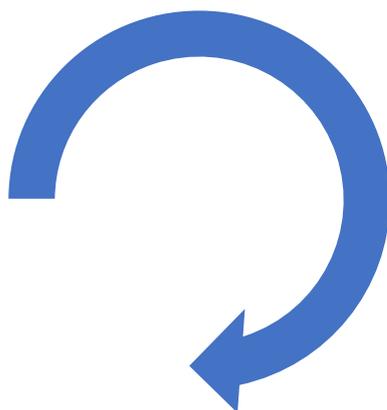
Com a implementação do Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos e a oficialização do MeDiNa no âmbito do DNIT, a Diretoria de Planejamento e Pesquisa (DPP) instituiu, junto às Superintendências Regionais do DNIT, segmentos experimentais para avaliar e aperfeiçoar a calibração desta ferramenta no DNIT, e para auxiliar projetistas no dimensionamento de pavimentos flexíveis, no contexto de uma visão mecanística-empírica.

As diretrizes técnicas para a implantação e o monitoramento dos segmentos experimentais foram baseadas, inicialmente, no Manual de Trechos Monitorados da Rede de Tecnologia em Asfaltos, projeto fomentado pela PETROBRAS e que contou com a participação de diversas universidades brasileiras.

O programa de implantação e monitoramento de segmentos experimentais no DNIT, ora denominado PRO-MeDiNa, busca promover a avaliação do comportamento dos pavimentos ao longo dos anos, ampliando a condição de contorno da função de transferência, utilizando diferentes volumes de tráfego e estruturas de pavimento, em relação aos dados já existentes, que poderão ser utilizados para o aperfeiçoamento da calibração e da validação do método de dimensionamento nacional de pavimentos.

O DNIT, por meio do IPR, irá receber e organizar os dados gerados nos segmentos experimentais, que incluem a caracterização e os ensaios previstos no MeDiNa.

O procedimento para implantação e monitoramento de segmentos experimentais no âmbito do programa PRO-MeDiNa se divide em três fases. A primeira fase refere-se à construção do segmento propriamente dito, a segunda envolve o monitoramento do segmento ao longo da sua vida útil e a terceira diz respeito ao tratamento dos dados coletados. Tais fases subdividem-se nas seguintes etapas, como mostra o fluxograma apresentado na Figura 1.



### Figura 1 – Fluxograma das etapas do programa PRO-MeDiNa

A **Fase 1 – Construção** refere-se à construção do segmento propriamente dito e é dividida em duas etapas:

A primeira etapa, de **Estudos Preliminares**, trata da coleta dos seguintes dados:

- definição do segmento experimental;
- dados sobre o clima da região;
- dados sobre os materiais a serem utilizados no segmento experimental, incluindo informações sobre as jazidas, as pedreiras e as eventuais fontes de agregados alternativos (rejeitos, resíduos ou fresado);
- características geométricas da seção monitorada, apresentadas por meio de um croqui georreferenciado;
- dados do tráfego de projeto (VMD, Classificação e Taxa de Crescimento);

- dados de pesagem (se houver);
- dados de avaliação funcional do pavimento existente (nos casos de reabilitação).

A segunda etapa, de **Execução, subdivide-se em duas**: Caracterização e Avaliação dos Materiais e Controle de Execução.

- Na **Caracterização e Avaliação de Materiais**, o processo deve ser realizado com os materiais coletados no momento de sua aplicação em campo. As amostras de ligante e de agregados devem se referir aos mesmos materiais integrantes das camadas executadas nos segmentos experimentais. Além disso, todos os ensaios exigidos como “*input*” no MeDiNa devem ser realizados para que a avaliação das respostas de campo possa ser confrontada com o emprego do sistema computacional proposto.
- No **Controle de Execução** devem ser verificadas:
  - a) a espessura, a densidade, a massa específica, a umidade ótima “*in situ*” e a deflexão para as camadas anteriores ao revestimento, durante a etapa de construção;
  - b) verificação da temperatura do revestimento no momento de sua execução, devendo também ser encaminhado ao DNIT o certificado do ligante asfáltico empregado, bem como o relatório contendo os ensaios usuais de controle executivo da mistura asfáltica.

Após a etapa de execução do trecho, tem-se início a **Fase 2 – Monitoramento**, que consiste na avaliação das condições funcionais e estruturais dos pavimentos e dos efeitos climáticos no comportamento mecânico dos materiais da camada de revestimento. Dentre as principais atividades dessa fase, estão o monitoramento do tráfego, a determinação das deflexões, o levantamento das condições de macrotextura e microtextura, o levantamento do IRI, bem como o levantamento de defeitos no pavimento, em especial a área trincada e o afundamento de trilha de rodas.

Por fim, ocorre a **Fase 3 – Tratamento dos Dados**. Os dados coletados em cada segmento experimental devem ser lançados em uma planilha eletrônica específica para o preenchimento do banco de dados. A partir desse tratamento, são realizadas

as análises dos resultados obtidos e sua comparação com aqueles gerados pelo MeDiNa. Podendo desta forma, realizar os ajustes na função de transferência do método. A planilha eletrônica específica está disponível no seguinte endereço eletrônico:

<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/planilha-padrao-pro-medina>

Todas as normas e especificações técnicas do DNIT estão disponíveis no seguinte endereço eletrônico:

<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas>.

Caso o DNIT não disponha de algum documento normativo citado nesse Guia, pode-se verificar a sua disponibilidade nas informações que constam nas referências bibliográficas.

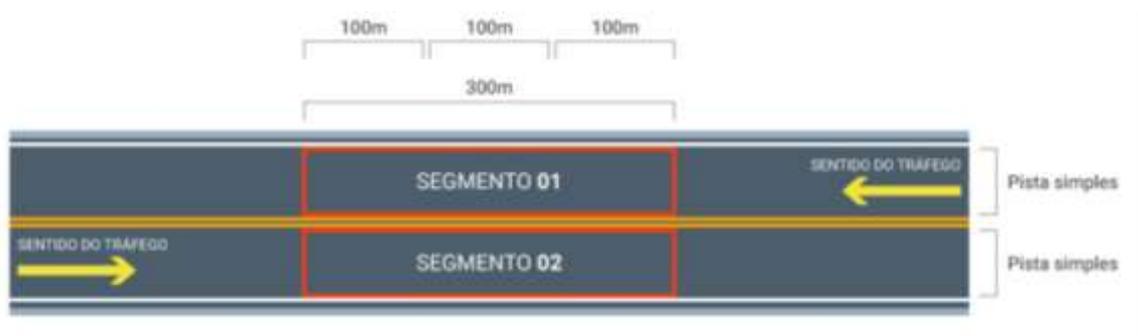
Cabe lembrar que os participantes do programa PRO-MeDiNa devem estar atentos às atualizações das normas, adotando sempre a versão mais atualizada, no momento de execução da obra.

## **2**      **DEFINIÇÕES**

## 2 DEFINIÇÕES

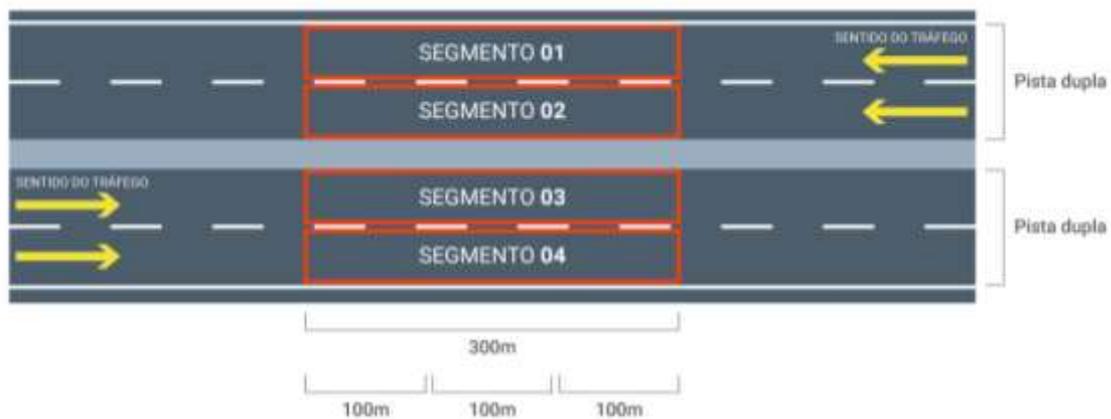
O objetivo de desenvolvimento e aplicação deste Guia é o de que todos os conceitos e procedimentos aqui descritos sejam compreendidos e difundidos pelo Brasil durante a execução e monitoramento dos segmentos experimentais do Programa PRO-MeDiNa. Desta forma, para efeitos exclusivamente deste Guia, são adotadas as seguintes definições:

- Segmento experimental – Porção do pavimento construída ou reabilitada conforme as características dimensionadas e que será monitorada.
- Trecho experimental – Sinônimo de segmento experimental, utilizado neste Guia para dar maior fluidez ao texto, quando necessário.
- Rodovia de pista simples por sentido – Quando há uma pista em cada sentido de tráfego da rodovia. Em cada pista haverá a implementação de um segmento, conforme a Figura 2.



**Figura 2 – Rodovia de pista simples por sentido**

- Rodovia com mais de uma pista por sentido – Quando há mais de uma pista em cada sentido de tráfego da rodovia. Em cada pista haverá a implementação de um segmento, conforme a Figura 3, devido a diferença de tráfego sobre elas. Assim, uma rodovia de pista dupla, poderá contar com até 4 (quatro) segmentos.



**Figura 3 – Rodovia com mais de uma pista por sentido**

**FASE 1 – CONSTRUÇÃO**

A Fase 1 contempla a construção do segmento monitorado e os preceitos necessários para tal, seja este de implantação ou de reabilitação. Dentro das particularidades da fase, são descritas duas etapas fundamentais, os estudos preliminares e a execução. Em cada uma destas etapas também são detalhados os ensaios e as normas que os regem e devem ser seguidos para completa identificação do segmento monitorado.

### **3 ESTUDOS PRELIMINARES**

A etapa de estudos preliminares consiste na identificação e definição dos segmentos experimentais, sejam eles em caráter de implantação ou de reabilitação. Esta fase visa a obtenção das informações gerais referentes ao segmento, tais como características geométricas, coordenadas geográficas, condições climáticas da localidade e o volume de tráfego previsto ou atuante na estrutura. Para fins de calibração do MeDiNa, serão válidos apenas pavimentos com revestimentos asfálticos.

Constitui um segmento experimental, no âmbito deste Guia, um trecho, construído sob determinadas condições estipuladas, que será acompanhado sistematicamente de acordo com o previsto nesta publicação. Em um mesmo local, pode ser construído mais de um segmento monitorado, preferencialmente de forma sequencial, para que apresentem o mesmo tráfego e as mesmas condições climáticas. Cada um deles será avaliado como um segmento independente. Em casos de rodovias com mais de uma pista, devido à diferença no volume de tráfego, cada uma das pistas deve ser considerada como um segmento distinto.

#### **3.1 ESCOLHA DO SEGMENTO EXPERIMENTAL**

A localidade escolhida para o segmento experimental, seja ela, uma estrutura de pavimento novo ou de reabilitação, deve possibilitar a execução e o acompanhamento do pavimento com uma extensão de 300 m, possuindo estaqueamento demarcado a cada 20 m ao longo do eixo longitudinal da pista.

A extensão indicada poderá ser alterada, quando devidamente justificada, e se for de interesse do DNIT. Dentro de um mesmo segmento experimental, podem ser construídos subtrechos menores de, no mínimo, 100 m cada.

Preferencialmente, deve-se buscar estruturas com as seguintes características:

- Pavimentos construídos em aterro, com relevos planos e em tangente, ao longo da totalidade do segmento experimental.
- Segmento sem a transposição de bueiros ou galerias, ao longo da seção transversal ou longitudinal do trecho selecionado, e que possua sistema de drenagem constante.
- A escolha do pavimento monitorado deve ser efetuada em locais sem ramificações de fluxo de veículos no decorrer do segmento, com ausências de paradas de veículos, pontos de ônibus, postos de pesagem, acessos etc.

Após a definição da localização do segmento experimental, este deverá ser, obrigatoriamente, identificado com placas de início e fim, as quais contarão com as seguintes informações: rodovia, extensão, empresa construtora, empresa supervisora e superintendência regional do DNIT responsável.

O modelo da placa é apresentado na Figura 4, o qual deverá ser solicitado ao IPR/DNIT para cada segmento experimental. A placa deverá possuir 3,2 m x 2 m, podendo ser ajustada a depender das especificidades da localização do segmento.



2m x 3,20m

**Figura 4 – Placa modelo do PRO-MeDiNa**

Além da identificação com as placas, após o término da construção do segmento experimental, o revestimento deverá ser demarcado em todas as estacas, ou seja, a cada 20 m, visando facilitar a identificação dos pontos onde serão realizados os levantamentos na etapa de monitoramento pós-execução.

No caso de implantação do segmento experimental em rodovias de pista simples, cada sentido do tráfego representa um segmento distinto; em rodovias com duas ou mais faixas de tráfego por sentido, cada faixa localizada no mesmo sentido também poderá representar um segmento diferente.

Para os casos de monitoramento em pavimentos reabilitados, devem ser registradas as características do pavimento existente. Deve ser identificado o tipo de pavimento, inclusive os materiais empregados na composição das camadas, por meio do histórico da estrutura e sondagem, no intuito de determinar precisamente a espessura das camadas existentes. Recomenda-se também a identificação da data de construção do pavimento existente, assim como eventuais atividades de manutenção e reabilitação efetuadas na estrutura ao longo do tempo.

Deve-se também, obrigatoriamente, realizar a quantificação da irregularidade longitudinal, em termos de IRI (m/km), e do percentual de área trincada (AT %) do pavimento a ser reabilitado, conforme procedimentos descritos na seção 4. A Tabela 1 exibe, de maneira exemplificativa, as informações relativas ao preparo do pavimento, necessárias para identificação das condições de pré-reabilitação.

**Tabela 1 – Condições do pavimento pré-reabilitação (exemplo)**

<b>Estrutura Existente</b>	
<b>Material</b>	<b>Espessura (mm)</b>
Concreto Asfáltico	60
Brita Graduada Simples	150
Macadame Seco	150
Subleito	--
<b>Preparo do Pavimento</b>	<b>Descrição</b>
IRI (m/km) Pré-Reabilitação	3,70
AT (%) Pré-Reabilitação	60,00
Fresagem (mm)	25
Intervenção na base	Não

<b>Preparo do Pavimento</b>	<b>Descrição</b>
SAMI	Não
Pintura de ligação	RR-1C
Imprimação	CM-30

### **3.2 CLIMA**

Deve-se coletar dados climáticos da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação mais próxima ao segmento experimental, referentes às precipitações acumuladas mensais médias, temperaturas máximas, mínimas e umidade relativa do ar na cidade, visando fornecer os dados das condições iniciais climáticas do projeto do segmento experimental.

### **3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E GEORREFERENCIAMENTO**

Para completo entendimento das características geométricas do segmento monitorado, deve ser elaborado um croqui onde constem os seguintes itens:

- tipo de seção: corte, aterro ou mista;
- extensão do segmento monitorado, com estaqueamento a cada 20 metros;
- estacas e quilômetro do segmento experimental: inicial e final;
- número de faixas da seção, com identificação da(s) pista(s) a ser(em) acompanhada(s);
- largura das faixas;
- indicação da presença ou não de acostamento, sua largura e tipo de revestimento;
- sentido do tráfego;
- relatório fotográfico.

As coordenadas geográficas do segmento a ser executado devem ser determinadas através do sistema SIRGAS2000. Devem ser registradas as coordenadas em latitude e longitude das estacas inicial e final do segmento monitorado, com resultados compilados em graus (°), minutos (') e segundos (").

A Tabela 2 exibe, de maneira exemplificativa, as informações compiladas referentes às características geométricas e ao georreferenciamento de um segmento monitorado.

**Tabela 2 – Características geométricas e de georreferenciamento do segmento monitorado (exemplo)**

<b>Rodovia</b>	BR-116/RS			
<b>Município/Estado</b>	Barra Ribeiro/RS			
<b>Trecho da obra</b>	Duplicação da BR-116/RS entre Guaíba e Pelotas			
<b>Tipo de revestimento</b>	Concreto Asfáltico			
<b>Extensão (m)</b>	300			
<b>Estaca e km</b>	Estaca 10 a 25 - km 21,2 ao km 21,5			
<b>Velocidade Diretriz da Via (km/h)</b>	60			
<b>Início</b>	Estaca	10	Latitude	29°42'46,77" Sul
			Longitude	53°48'39,59" Oeste
<b>Fim</b>	Estaca	25	Latitude	29°42'37,96" Sul
			Longitude	53°48'43,59" Oeste
<b>Altitude Média (m)</b>	85			
<b>Número de Faixas</b>	2 (E/D)			
<b>Faixa/Sentido Monitorado</b>	Pista Direita (Sentido Pelotas – Guaíba)			
<b>Largura da Faixa (m)</b>	3,60			
<b>Largura do acostamento (m)</b>	1,60			

### 3.4 TRÁFEGO

Na etapa de estudos preliminares, deve ser utilizado o tráfego definido na fase de projeto. Caso estas informações não estejam disponíveis, pode-se coletar os dados obtidos no PNCT (Plano Nacional de Contagem de Tráfego), onde couber, e com as adaptações necessárias. Os dados de tráfego deverão ser coletados anualmente, conforme detalhado na etapa de monitoramento.

## 4 EXECUÇÃO DO SEGMENTO EXPERIMENTAL

Na etapa de execução do segmento experimental, tanto nos casos de pavimentos novos como nos de reabilitações, cabe aos responsáveis definidos pelo DNIT, coletar, e caracterizar os materiais empregados na composição estrutural do pavimento, os quais serão posteriormente avaliados, por meio de ensaios de laboratório e levantamentos de campo.

Não faz parte do escopo desse Guia propor protocolos de investigações da fase de projeto, tanto no âmbito de seleção de materiais e dosagem, quanto de dimensionamento de pavimentos, mas sim garantir que os materiais empregados, especificamente no local onde será implantado o segmento monitorado, sejam coletados e avaliados laboratorialmente, fornecendo sua representação “*as built*”.

O correto planejamento das atividades de execução deve garantir a uniformidade de materiais e processos aplicados no segmento. É extremamente desejável que todos os agregados utilizados na composição da mistura asfáltica, por exemplo, sejam oriundos da mesma face da pedreira, e que o ligante asfáltico, seja proveniente da mesma carga utilizada na pista.

#### **4.1 COLETA DE AMOSTRAS**

Na fase de execução, uma das principais atividades para o sucesso do segmento experimental é a coleta dos materiais, que deve representar os elementos constituintes aplicados nas camadas do pavimento.

Os materiais empregados no trecho monitorado, sejam eles em caráter de implantação ou reabilitação, devem ser coletados para avaliação laboratorial conforme diretrizes desse Guia, durante a execução do serviço em campo. Devem ser adequadamente identificados e armazenados em locais cobertos, evitando a alteração de suas propriedades devido às intempéries.

Os recipientes das amostras com sua identificação devem conter, no mínimo, as informações relacionadas ao tipo, à procedência e à quantidade coletada do material. A identificação deverá estar protegida com plástico impermeável para evitar que seja danificada, devendo ser realizada de acordo com os modelos de etiqueta apresentados no Anexo A. Na Figura 5 é apresentado um exemplo de etiqueta preenchida para a coleta de um material proveniente da camada do subleito.

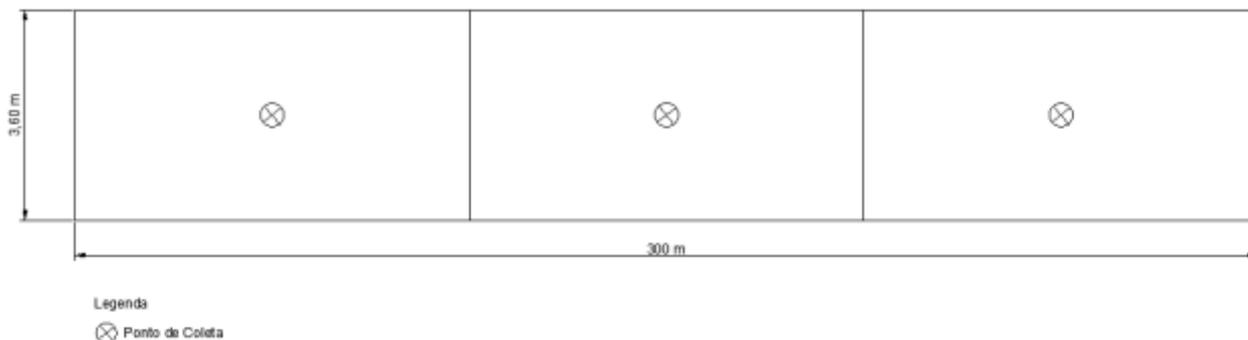
 	
<b>ETIQUETA PARA COLETA DE AMOSTRAS</b>	
<b>Segmento experimental:</b> BR-116/RS	<b>Data e hora:</b> 21/05/2022 -15h30
<b>Camada do pavimento:</b> Subleito	<b>Tipo de material:</b> Argila
<b>Estaca:</b> 43	<b>Temperatura:</b> 25 °C
<b>Quantidade:</b> 50 kg	<b>Responsável:</b> Xx (Construtora XY)
<b>Umidade ótima:</b> 24 %	<b>Densidade:</b> 1,780 g/cm <sup>3</sup>
<b>Observações:</b> Material coletado em campo após a homogeneização do subleito. Trata-se de parte da quantidade coletada.	

**Figura 5 – Modelo de etiqueta para coleta de material (exemplo)**

Os quantitativos dos materiais a serem coletados, assim como o recipiente de armazenamento, devem respeitar as diretrizes dos itens que se seguem.

A coleta dos materiais deverá ser realizada na extensão total do trecho, dividindo-se a quantidade nos pontos centrais de cada subtrecho e após a homogeneização do material, no momento da execução.

No segmento de 300 m, supondo uma quantidade total de 150 kg a ser retirada, a coleta de material deverá ser realizada no ponto central e no eixo da pista de cada subtrecho de 100 m, sendo 50 kg por ponto. A Figura 6 apresenta um croqui exemplificativo de coleta.



**Figura 6 – Localização dos pontos de coleta de material**

#### **4.1.1 Solos e Materiais Granulares**

Os solos e materiais granulares presentes no subleito ou empregados em camadas estruturais do pavimento devem ser coletados durante a construção da respectiva camada, com amostragem retirada em pista, conforme as seguintes diretrizes:

- 350 kg de material, destinados aos ensaios de granulometria, classificação MCT (se couber), limites de consistência, densidade das partículas, compactação, ensaios triaxiais de módulo de resiliência e de deformação permanente, caso o material seja totalmente passante na peneira de 25 mm (1”).
- 600 kg de material, destinados aos ensaios de granulometria, limites de consistência, densidade das partículas, compactação, ensaios triaxiais de módulo de resiliência e de deformação permanente, caso o material não seja totalmente passante na peneira de 25 mm (1”).

Os solos e materiais granulares devem ser coletados em sacos plásticos recobertos por sacos de ráfia ou semelhantes, que garantam proteção adequada contra rasgos e intempéries.

#### **4.1.2 Materiais Estabilizados Quimicamente**

Os insumos das camadas estabilizadas quimicamente utilizadas nos segmentos monitorados devem ser coletados em usina, no dia exato de sua aplicação em pista, conforme as seguintes diretrizes:

- 350 kg de material nas proporções do projeto de dosagem (brita, pedrisco, pó de pedra, areia, etc.), destinados aos ensaios de resistência à compressão simples,

resistência à tração por compressão diametral, módulo de resiliência e fadiga por compressão diametral, caso o material seja totalmente passante na peneira de 25 mm (1”).

- 600 kg de material nas proporções do projeto de dosagem (brita, pedrisco, pó de pedra, areia, etc.), destinados aos ensaios de resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, módulo de resiliência e fadiga por compressão diametral, caso o material não seja totalmente passante na peneira de 25 mm (1”).
- Deve ser coletado, no mínimo, 100 kg do material estabilizante depositado no canteiro, conforme definido em projeto, devendo ser armazenado em recipiente impermeável e alocado em local sem presença de umidade.

Os agregados utilizados nas misturas estabilizadas devem ser coletados em sacos plásticos recobertos por sacos de rafia ou semelhantes, que garantam proteção adequada contra rasgos e intempéries.

#### **4.1.3 Misturas Asfálticas**

Para avaliação laboratorial das misturas asfálticas, deve-se coletar a mistura usinada, empregada no segmento, e os agregados pétreos referentes às pilhas utilizadas na composição granulométrica. Os materiais devem ser coletados conforme as seguintes diretrizes:

##### **4.1.3.1 Ensaios obrigatórios para o MeDiNa**

- 100 kg de mistura asfáltica usinada. O armazenamento da mistura pode ser realizado em assadeiras de alumínio descartável ou baldes metálicos (com dimensões adequadas para serem colocados em estufa), o recipiente deve estar vedado e identificado de forma individual, com: rodovia, trecho e o ponto de coleta do km. A correta vedação e identificação dos materiais se faz essencial para que não haja danos durante o transporte. A Figura 7 apresenta um exemplo do correto método de armazenagem e identificação de mistura asfáltica em assadeira de alumínio descartável (em a), bem como o método incorreto e que não deve ser realizado (em b). O material coletado é destinado aos ensaios de determinação de

teor de ligante, granulometria e densidade máxima medida da mistura executada em campo;



**Figura 7 – Armazenamento de misturas asfálticas usadas**

- 300 kg dos agregados da mistura, na proporção do projeto de dosagem, destinados aos ensaios de dano por umidade induzida, módulo de resiliência, resistência à tração por compressão diametral, fadiga por compressão diametral e *Flow Number* (FN). Além disso, quando necessário, deve ser coletado o material de enchimento (comercial) em uma quantidade de pelo menos 60 kg.

Para o transporte do material, todas as assadeiras de alumínio descartáveis e/ou baldes metálicos devem estar armazenados de forma conjunta, por exemplo em uma caixa de papelão, e identificados com uma etiqueta preenchida para a coleta de um material, conforme exemplo da Figura 5.

#### 4.1.3.2 Ensaios desejáveis para o MeDiNa

Para aproveitar a execução do segmento serão também realizados, durante a obra ou em época a ser definida, outros ensaios não incluídos nos dados de entrada para o MeDiNa, relevantes para a avaliação detalhada da mistura asfáltica. Esses materiais deverão ser coletados durante a construção da respectiva camada. Na sequência, deverão ser devidamente identificados e armazenados ou encaminhados para a instituição indicada pelo DNIT:

- 300 kg dos agregados da mistura, na proporção do projeto de dosagem, destinados aos ensaios de módulo dinâmico, fadiga por tração direta e triaxial de mistura asfáltica (*Stress Sweep Rutting* – SSR). Além disso, quando necessário,

deve ser coletado material de enchimento (comercial) em uma quantidade de pelo menos 60 kg.

Importante observar que os quantitativos referentes aos ligantes asfálticos estão especificados na subseção 4.1.4, devido às suas particularidades de trabalho.

O projeto de dosagem da mistura asfáltica deve ser encaminhado ao IPR/DNIT, contendo todas as informações de traço da mistura e materiais utilizados.

#### **4.1.4 Ligantes Asfálticos**

Os ligantes asfálticos utilizados nas misturas asfálticas empregadas nos segmentos experimentais devem ser coletados no tanque da usina, no dia exato de execução do segmento em pista, conforme as seguintes diretrizes:

- 36 litros de ligante asfáltico, armazenados em latas de 18 litros com tampa, conforme Figura 8, para os ensaios de penetração, ponto de amolecimento, viscosidade, recuperação elástica e estabilidade à estocagem (estes dois últimos apenas para os casos de ligantes modificados por polímeros);
- 36 litros de ligante asfáltico, armazenados em latas de 18 litros com tampa, conforme Figura 8, para os ensaios DSR (*Dinamic Shear Rheometer*), MSCR (*Multiple Stress Creep and Recovery*), LAS (*Linear Amplitude Sweep*) e BBR (*Bending Beam Rheometer*).



**Figura 8 – Recipiente para armazenamento de ligantes asfálticos**

Devem ser tomados os cuidados necessários para o correto armazenamento do ligante coletado. Recomenda-se, após a coleta, aguardar em média duas horas com o recipiente aberto, na temperatura ambiente, com adequada proteção da superfície. Após esse período, o recipiente poderá ser fechado, caso esteja na temperatura apropriada. É importante não vedá-lo enquanto o ligante ainda estiver quente, para evitar que o vapor d'água danifique o material.

Caso possuam características e dimensões adequadas para o armazenamento e inserção na estufa, podem ser empregadas latas menores, com os devidos cuidados.

Devem ser obtidas informações comerciais referentes ao material no momento de sua coleta, os quais incluem a refinaria, a empresa distribuidora, a data do carregamento, o número e a data da nota fiscal, o número e a data do certificado (obter cópia do certificado de controle de qualidade entregue pela distribuidora, bem como as recomendações da distribuidora acerca da utilização do ligante, quando for o caso).

## **4.2 ASPECTOS CONSTRUTIVOS**

A execução das camadas do pavimento deve atender às especificações de serviço do DNIT. Entende-se por bom controle tecnológico de execução a realização de verificações próprias para garantir a qualidade da camada construída, em espaçamentos adequados que representem uma boa amostragem do serviço, controle de deformabilidade, acabamento, geometria, espessuras, entre outros aspectos relevantes.

O controle de execução consiste na identificação das condições do pavimento construído, apresentando um cenário real da estrutura. Na totalidade do segmento monitorado, deve-se verificar se as espessuras das camadas são condizentes com aquelas delimitadas em projeto.

No caso do subleito e demais camadas granulares do pavimento, faz-se necessário verificar a massa específica (DNER – ME 092/94) e a umidade ótima “*in situ*” (DNER – ME 052/94) dos materiais, com posterior determinação do grau de compactação de cada uma das camadas, que deve atender às especificações de projeto.

As determinações devem ser realizadas apenas em algumas estacas do segmento experimental, espaçadas, no máximo, de 100 em 100 metros. Caso os resultados

indiquem variações significativas, ou verifique-se que houve mudança do tipo de solo, os ensaios devem ser realizados a cada 40 m. Ressalta-se que estes levantamentos não substituem o controle executivo padrão realizado na obra.

No caso dos concretos asfálticos, deve-se anotar também as temperaturas de mistura da massa asfáltica em usina e as temperaturas de compactação empregadas em pista. Indica-se a identificação “carga por carga” do material asfáltico empregado no segmento experimental, permitindo a rastreabilidade do material aplicado, facilitando a correlação de defeitos no pavimento atrelados ao processo construtivo.

Deve-se descrever quaisquer ocorrências que possam gerar alguma anomalia futura, tais como: (i) temperatura de compactação abaixo do previsto; (ii) precipitação pluviométrica repentina ou defeitos momentâneos em equipamentos, tanto durante o espalhamento quanto na compactação, que possam ter prejudicado a execução ou que gerem a formação de juntas; ou (iii) outras ocorrências não previstas. Em caso de dúvidas, pesquisar em Pavi (2019) para a realização de anotações referentes ao processo construtivo de concretos asfálticos.

Para avaliação expedita da compactação e integridade de todas as camadas, deve-se realizar o levantamento deflectométrico com a Viga Benkelman, em conformidade com norma DNIT 133/2010 – ME, a fim de se obter a bacia de deflexão em cada uma das camadas do pavimento, após o término do processo de compactação. As medidas de deflexão devem ser efetuadas em todas as estacas do segmento monitorado, espaçadas de 20 em 20 metros. Atenção especial deverá ser dada, ao peso do caminhão, ao tipo de eixo e à pressão e dimensão dos pneus que devem atender a já referida norma, devendo ser conferidos no momento do levantamento. Esta etapa não deve ser confundida com as avaliações deflectométricas periódicas na fase de pós-execução, efetuadas com o equipamento FWD (*Falling Weight Deflectometer*), sendo a Viga Benkelman, nesta etapa, apenas complementar, mas também de significativa importância. Utilizar o seguinte espaçamento para o levantamento das bacias, tanto da viga como do FWD: D0, D20, D30, D45, D60, D90 e D120.

### **4.3 ENSAIOS LABORATORIAIS**

A realização dos ensaios laboratoriais dos materiais coletados e empregados na composição estrutural do segmento experimental são parte essencial do processo de acompanhamento dos segmentos PRO-MeDiNa.

Os itens que se seguem descrevem os ensaios obrigatórios para a correta caracterização dos materiais empregados nos segmentos. No entanto, o presente Guia não abrange as avaliações laboratoriais da fase de seleção dos materiais, dosagem e dimensionamento dos componentes do pavimento.

Para a correta determinação da condição “*as built*” do pavimento, todas as amostras de solos, materiais granulares, misturas estabilizadas quimicamente, misturas e ligantes asfálticos devem ser realizadas conforme as condições do pavimento construído, e de acordo com o acompanhamento executivo efetuado no decorrer da elaboração das camadas do pavimento.

Nas subseções 4.3.3.2 e 4.3.4.2, estão mencionados também ensaios desejáveis, referentes às misturas asfálticas e ligantes asfálticos, no que tange à caracterização avançada dos materiais, os quais estão computados na amostragem coletada, descrita na subseção 4.1. Estes ensaios têm de grande relevância para futuras atualizações do MeDiNa.

#### **4.3.1 Solos e Materiais Granulares**

No que se refere à avaliação laboratorial atinente aos solos e materiais granulares, deve-se atentar para os parâmetros oriundos da classificação MCT, quando couber (solos finos com 95 % passante na #10), ou da classificação rodoviária convencional (*Transportation Research Board - TRB* ou Sistema Unificado de Classificação de Solos - SUCS) e dos ensaios triaxiais de rigidez e deformação permanente.

Para efetuar a classificação dos solos conforme a metodologia MCT, proposta por Nogami e Villibor (1981), deve-se proceder os ensaios e avaliações atendendo às normas DNIT 256/2023 – ME, DNIT 258/2023 – ME, DNIT 259/2023 – CLA ou as atualizações decorrentes.

Para a classificação de acordo com a TRB ou SUCS, deverão ser realizados os ensaios de granulometria e limites de consistência, de acordo com o preconizado no Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

Para avaliação da rigidez dos solos e materiais granulares, deve ser realizado o ensaio de módulo de resiliência pelo equipamento triaxial de cargas repetidas, preconizado pela norma DNIT 134/2018 – ME. Os resultados serão apresentados por meio de modelos que determinam o módulo resiliente em função da tensão confinante, da tensão desvio e do invariante de tensões, relacionando os valores de rigidez com as tensões impostas durante o ensaio. O material ensaiado pode ser representado pelo modelo constitutivo que melhor representar seu comportamento, devendo estar de acordo com o solicitado pelo MeDiNa, conforme apresentado na Equação 1.

$$MR = k_1 * \sigma_3^{k_2} * \sigma_d^{k_3} * \theta^{k_4} \quad (1)$$

Em que:

$MR$  é o módulo de resiliência, expresso em megapascal (MPa);

$\sigma_3$  é a tensão confinante, expressa em megapascal (MPa);

$\sigma_d$  é a tensão de desvio, expressa em megapascal (MPa);

$\theta$  é o primeiro invariante de tensões (somatório das tensões principais), expresso em megapascal (MPa);

$k_1, k_2, k_3$  e  $k_4$  são os parâmetros dos modelos, determinados no ensaio, adimensional.

Para avaliação dos parâmetros de danificação dos materiais, em termos de deformação permanente, deve-se efetuar o ensaio triaxial de cargas repetidas, preconizado na norma DNIT 179/2018 – IE.

O processamento dos resultados obtidos no ensaio deve ser efetuado pelo modelo elaborado por Guimarães (2009), utilizado para a previsão da deformação permanente em solos tropicais e outros materiais que compõem as camadas de pavimentos, conforme Equação 2:

$$\varepsilon_p(\%) = \psi_1 \left( \frac{\sigma_3}{\rho_0} \right)^{\psi_2} \left( \frac{\sigma_d}{\rho_0} \right)^{\psi_3} N^{\psi_4} \quad (2)$$

Em que:

$\varepsilon_p(\%)$  é a deformação específica permanente, expresso em porcentagem (%);

$\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$  são parâmetros de regressão, adimensionais;

$\sigma_3$  é a tensão confinante, expresso em megapascal (MPa);

$\sigma_d$  é a tensão de desvio, expresso em megapascal (MPa);

$\rho_0$  é a tensão de referência (pressão atmosférica, considerada igual a 0,0981 MPa);

$N$  é o número de ciclos de aplicação de carga.

A norma do ensaio triaxial de deformação permanente indica a utilização de nove corpos de prova. Contudo, para o material do subleito, há possibilidade de realização do ensaio com seis corpos de prova (seis pares de tensão), com boa correlação do modelo apresentado por Guimarães (2009). Entretanto, caso a combinação de seis pares de tensão não apresente uma boa correlação na geração do modelo final de comportamento, deve-se realizar o ensaio com os demais pares indicados na norma.

Além disso, há possibilidade de redução do número de ciclos de carga em cada corpo de prova caso, durante a realização do ensaio, para um determinado par de tensões, caso se verifique a tendência ao acomodamento, sem prejuízo ao ajuste do modelo de Guimarães (2009), conforme estudo realizado por Lima (2020). Entretanto, para a redução do número de ciclos, deve-se comprovar, também, uma boa correlação na geração do modelo final de comportamento.

A Tabela 3 e a Tabela 4 exibem, de maneira exemplificativa, as necessidades básicas de caracterização dos solos e materiais granulares, respectivamente, para atendimento do programa PRO-MeDiNa.

**Tabela 3 – Informações necessárias referentes aos solos empregados nos segmentos monitorados (exemplo)**

<b>Grupo MCT</b>	<b>LG'</b>
MCT – Coeficiente $c'$	1,77
MCT – Índice $e'$	0,9
Massa Específica Aparente Seca ( $\text{g/cm}^3$ )	1,647
Umidade Ótima (%)	19,9
Energia de Compactação	Normal
<b>Módulo de Resiliência (MPa)</b>	
Coeficiente de Regressão ( $k_1$ )	484,390
Coeficiente de Regressão ( $k_2$ )	0,488
Coeficiente de Regressão ( $k_3$ )	0,065
Coeficiente de Regressão ( $k_4$ )	0,000
<b>Deformação Permanente</b>	
Coeficiente de Regressão ( $k_1$ ou $\psi_1$ )	0,869
Coeficiente de Regressão ( $k_2$ ou $\psi_2$ )	0,006
Coeficiente de Regressão ( $k_3$ ou $\psi_3$ )	1,212
Coeficiente de Regressão ( $k_4$ ou $\psi_4$ )	0,042

**Tabela 4 – Informações necessárias referentes aos materiais granulares empregados nos segmentos monitorados (exemplo)**

<b>Base de solo estabilizado granulometricamente</b>	
Massa Específica Aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ )	2,202
Umidade Ótima (%)	7,7
Energia de Compactação	Modificada
Faixa Granulométrica	Faixa A – DNIT 141/2022-ES
<b>Módulo de Resiliência (MPa)</b>	
Coeficiente de Regressão ( $k_1$ )	1621,000
Coeficiente de Regressão ( $k_2$ )	0,535
Coeficiente de Regressão ( $k_3$ )	0,166
Coeficiente de Regressão ( $k_4$ )	0,000
<b>Deformação Permanente</b>	
Coeficiente de Regressão ( $k_1$ ou $\psi_1$ )	0,040
Coeficiente de Regressão ( $k_2$ ou $\psi_2$ )	-0,892
Coeficiente de Regressão ( $k_3$ ou $\psi_3$ )	1,311
Coeficiente de Regressão ( $k_4$ ou $\psi_4$ )	0,169

#### 4.3.2 Materiais Estabilizados Quimicamente

Os materiais estabilizados quimicamente empregados em camadas estruturais do pavimento devem ser caracterizados em termos de seus parâmetros de resistência,

rigidez e dano. No âmbito desse Guia, entende-se como camadas estabilizadas quimicamente os materiais que, a partir da inserção de um agente aglutinador, incorporem ligação cristalina entre as partículas da mistura (ex.: brita graduada tratada com cimento, concreto compactado por rolo, solo cimento, solo cal, etc.).

Para obtenção dos parâmetros de resistência do material, deve-se efetuar os ensaios de resistência à tração por compressão diametral, preconizado pela norma DNIT 136/2018 – ME, e de resistência à compressão simples, conforme preconizado pelas normas DNER – ME 091/98, DNER – ME 201/94, e DNER – ME 180/94, devendo-se adotar aquela mais adequada à mistura estabilizada em questão. Já para o parâmetro de rigidez deve-se realizar o ensaio de módulo de resiliência, de acordo com a norma DNIT 181/2018 – ME.

Em relação à avaliação do comportamento dos materiais estabilizados quimicamente frente ao trincamento por fadiga, deve-se avaliar o material por meio de uma equação de fadiga (ou “curva de fadiga”), obtida pelo ensaio de compressão diametral à tensão controlada do corpo de prova submetido a carregamentos repetidos, de acordo com a norma DNIT 434/2022 – ME.

Os resultados devem ser processados conforme modelagem matemática exposta na Equação 3, que combina os parâmetros de ensaio para obtenção da curva de fadiga:

$$N_{fad} = 10^{(k_1 - k_2 * \%RF)} \quad (3)$$

Em que:

$N_{fad}$  é o número de repetições de carga necessárias à ruptura do corpo de prova (vida de fadiga);

$\% RF$  é a razão entre a tensão de tração aplicada ( $\sigma_t$ , expressa em MPa) e a resistência à tração à ruptura estática do material ( $\sigma_r$ , expressa em MPa);

$k_1$  e  $k_2$  são parâmetros experimentais, adimensionais.

Sempre que possível, devem-se manter os sensores de medição de deslocamentos no decorrer do ensaio de fadiga, a fim de verificar a redução de módulo durante as

aplicações do carregamento para obtenção das constantes A e B da função sigmoideal exposta na Equação 4, apresentada por Franco e Motta (2018).

$$MR = MR_{mín} + \frac{MR_{máx} - MR_{mín}}{1 + e^{A+B*D_i}} \quad (4)$$

Em que:

$MR_{máx}$  é o módulo de resiliência do material estabilizado, expresso em megapascal (MPa);

$MR_{mín}$  é o módulo de resiliência do material equivalente, sem estabilização, expresso em megapascal (MPa);

$D_i$  é o dano de fadiga, limitado entre 0 e 1;

A e B são parâmetros experimentais, adimensional.

Caso a manutenção dos sensores coloque em risco a integridade do sistema de medição, pode-se manter as constantes A e B em seus valores de referência: -4 e 14, respectivamente. A Tabela 5 exhibe, de maneira exemplificativa, o preenchimento dos resultados referentes à caracterização das camadas estabilizadas quimicamente.

**Tabela 5 – Informações necessárias referentes aos materiais estabilizados quimicamente empregados nos segmentos monitorados (exemplo)**

<b>Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)</b>	
Tipo de Cimento	CP IV 32 RS
Teor de Cimento (%)	3,5
Resistência à Tração por compressão diametral, 28 dias (MPa)	0,578
Resistência à Compressão Simples, 28 dias (MPa)	3,45
Faixa Granulométrica	ABNT NBR 11803:2013 - Faixa B
Massa Específica Aparente Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,545
Umidade Ótima (%)	6,9
Energia de Compactação	Modificada
<b>Módulo de Resiliência, 28 dias (MPa)</b>	
Módulo Inicial (E <sub>i</sub> , MPa)	14000
Módulo Final (E <sub>f</sub> , MPa)	400
Constante A	-4,00
Constante B	14,00

<b>Fadiga do Material, 28 dias</b>	
Coeficiente de Regressão ( $k_1$ ou $\psi_1$ )	17,14
Coeficiente de Regressão ( $k_2$ ou $\psi_2$ )	-19,61

Quando o pavimento for composto por macadame, rachão, rocha detonada ou materiais que inviabilizem os ensaios triaxiais, é recomendável a obtenção da rigidez do material por meio da técnica de retroanálise.

### **4.3.3 Misturas Asfálticas**

A avaliação das misturas asfálticas empregadas nas pistas experimentais deve abranger os parâmetros de dano e rigidez da mistura. Para fins desse Guia, optou-se por dividir as necessidades laboratoriais em “Ensaio Obrigatório” e “Ensaio Desejáveis”. Nesta subseção, serão descritas as necessidades exclusivas para as misturas asfálticas. Os ligantes asfálticos serão abordados em tópico especial (subseção 4.3.4).

#### **4.3.3.1 Ensaio Obrigatório**

A caracterização das misturas asfálticas deve conter a determinação do teor de ligante da mistura, conforme preconizado pela norma DNIT 158/2011 – ME, DNER – ME 053/94 ou ASTM D 6307/2019. Caso seja necessário, poderá ser empregada a norma ABNT NBR 14855:2015 para determinação da solubilidade de ligantes asfálticos em tricloroetileno. Uma vez extraído o ligante asfáltico da mistura, deve-se proceder à determinação da granulometria dos materiais pétreos, utilizando as peneiras que constam na faixa de projeto. Em seguida, para a avaliação e controle das misturas de campo e moldadas em laboratório, deverá ser utilizada a norma DNIT 428/2022 – ME visando à determinação da massa específica aparente e do volume de vazios de corpos de prova compactados.

Após a moldagem dos corpos de prova em laboratório, com o uso de materiais coletados em usina, na condição “*as built*” do pavimento construído, devem ser realizados os ensaios de resistência à tração por compressão diametral do material (DNIT 136/2018 – ME); determinação do dano por umidade induzida (DNIT 180/2018 – ME) para obtenção da razão de resistência à tração retida (RRT); e módulo de resiliência da mistura asfáltica (DNIT 135/2018 – ME).

Com relação à análise do comportamento das misturas asfálticas frente ao trincamento por fadiga, é necessária a avaliação do material por meio de uma equação de fadiga (ou “curva de fadiga”), obtida pelo ensaio de compressão diametral à tensão controlada do corpo de prova submetido a carregamentos cíclicos, de acordo com a norma DNIT 183/2018 – ME.

Os resultados devem ser processados conforme modelagem matemática exposta na Equação 5, que combina os parâmetros de ensaio para obtenção da curva de fadiga:

$$N = k_1 * (\varepsilon_t)^{k_2} \quad (5)$$

Em que:

$N$  é o número de repetições de carga necessárias à ruptura do corpo de prova (vida de fadiga);

$\varepsilon_t$  é a deformação de tração, em micro strain ( $\mu\varepsilon$ );

$k_1$  e  $k_2$  são parâmetros experimentais, adimensionais.

Tratando-se da avaliação das misturas frente ao afundamento em trilha de rodas, deve-se efetuar o ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente para obtenção do parâmetro de *Flow Number* (FN), definido pela normativa DNIT 184/2018 – ME.

A Tabela 6 exibe, de maneira exemplificativa, o preenchimento dos resultados referentes aos ensaios obrigatórios relativo às misturas asfálticas.

**Tabela 6 – Ensaos obrigatórios referentes às misturas asfálticas (exemplo)**

<b>Tipo de CAP</b>	50/70
Densidade Relativa máxima medida ( $G_{mm}$ )	2,491
Densidade Relativa Aparente ( $G_{mb}$ )	2,466
Resistência à Tração (MPa)	1,81
Teor de Ligante (%)	5,9
Volume de Vazios (%)	4,00
Faixa Granulométrica	Faixa C – DNIT 031 - ES
Tamanho Máximo Nominal (TMN, mm)	12,5
Razão da Resistência à Tração Retida (RRT, %)	82
<b><i>Flow Number</i> (FN)</b>	158

<b>Módulo de Resiliência (MPa)</b>	4901
<b>Curva de Fadiga (Compressão Diametral)</b>	
Nº de Amostras (CPs) Consideradas	18
Coeficiente de Regressão ( $k_1$ )	4,00E-05
Coeficiente de Regressão ( $k_2$ )	-1,999
Coef. de Determinação do Ajuste ( $R^2$ )	0,849

#### 4.3.3.2 Ensaios Desejáveis

A fim de avançar tecnicamente no cenário de avaliação de misturas asfálticas, sugere-se a realização da caracterização linear viscoelástica (LVE) das misturas, seguida da aplicação do protocolo de análise S-VECD (*Simplified Viscoelastic Continuum Damage*) para determinar o comportamento à fadiga do material. Adicionalmente, sugere-se realizar o teste SSR (*Stress Sweep Rutting*), o qual simula o comportamento mecânico de uma mistura específica, cujo tratamento de dados resulta na previsão da evolução do afundamento em trilha de rodas ao longo do pavimento em serviço.

Para caracterizar o comportamento viscoelástico do material, em termos de rigidez e ângulo de fase, deve-se efetuar o ensaio uniaxial de módulo dinâmico. Neste ensaio, amostras cilíndricas são submetidas a carregamentos senoidais de compressão, em uma série de temperaturas e frequências de carregamento. As tensões aplicadas e as deformações axiais recuperáveis medidas são usadas para calcular os módulos dinâmicos e os ângulos de fase. Os valores de módulo dinâmico medidos, em uma série de temperaturas e frequências de carregamento, são ajustados em uma curva-mestra única, que caracteriza a mistura asfáltica para uso no dimensionamento de pavimentos e como critério de desempenho para a dosagem de misturas asfálticas. O ensaio de módulo dinâmico deve ser conduzido com base na norma DNIT 416/2019 – ME.

Na sequência, realiza-se o ensaio uniaxial cíclico de fadiga por tração direta, seguindo o procedimento proposto pela norma AASHTO T 400/2022, que consiste em aplicar, em cada corpo de prova, uma deformação cíclica senoidal, de amplitude constante, até que ocorra a ruptura, caracterizada por uma redução do ângulo de fase. O procedimento é realizado com mais de uma amostra, aplicando diferentes níveis de amplitude de deformação em cada amostra. Após as etapas de ensaio e de tratamento

dos dados, aplica-se o modelo S-VECD para determinação do parâmetro  $\alpha$ , da curva característica de dano (curva  $C$  vs.  $S$ ) e da envoltória de ruptura ( $G^R$  ou  $D^R$ ), parâmetros que caracterizam o comportamento à fadiga do material. As Tabelas 7 e 8 apresentam os parâmetros necessários à caracterização avançada de misturas asfálticas, por meio dos resultados dos ensaios de módulo dinâmico e fadiga por tração direta. Para maiores informações relativas ao tema, consultar Nascimento (2015), Boeira (2018) e Schuster (2018).

**Tabela 7 – Curvas mestras de módulo dinâmico  $|E^*|$  e ângulo de fase  $\delta$  (valores exemplificativos)**

Frequência Reduzida (Hz)	$ E^* $ (MPa)	$\delta$ (°)
1,00E-20	3,00E+01	1,35E-14
1,00E-19	3,00E+01	1,35E-13
1,00E-18	3,00E+01	1,35E-12
1,00E-17	3,00E+01	1,35E-11
1,00E-16	3,00E+01	1,35E-10
1,00E-15	3,00E+01	1,35E-09
1,00E-14	3,00E+01	1,35E-08
1,00E-13	3,00E+01	1,35E-07
1,00E-12	3,00E+01	1,35E-06
1,00E-11	3,00E+01	1,35E-05
1,00E-10	3,00E+01	1,35E-04
1,00E-09	3,00E+01	1,35E-03
1,00E-08	3,00E+01	1,35E-02
1,00E-07	3,00E+01	1,35E-01
1,00E-06	3,00E+01	1,34E+00
1,00E-05	3,24E+01	1,11E+01
1,00E-04	5,29E+01	2,57E+01
1,00E-03	1,23E+02	3,77E+01
1,00E-02	3,58E+02	4,18E+01
1,00E-01	1,04E+03	3,85E+01
1,00E+00	2,56E+03	3,11E+01
1,00E+01	5,09E+03	2,31E+01
1,00E+02	8,37E+03	1,66E+01
1,00E+03	1,19E+04	1,18E+01
1,00E+04	1,53E+04	8,24E+00
1,00E+05	1,82E+04	5,56E+00
1,00E+06	2,04E+04	3,59E+00
1,00E+07	2,19E+04	2,50E+00
1,00E+08	2,29E+04	2,26E+00
1,00E+09	2,35E+04	9,48E-01
1,00E+10	2,39E+04	5,21E-01
1,00E+11	2,41E+04	3,07E-01
1,00E+12	2,43E+04	1,90E-01
1,00E+13	2,44E+04	1,69E-01
1,00E+14	2,45E+04	7,12E-02
1,00E+15	2,45E+04	7,60E-03

Frequência Reduzida (Hz)	$ E^* $ (MPa)	$\delta$ (°)
1,00E+16	2,45E+04	7,60E-04
1,00E+17	2,45E+04	7,60E-05
1,00E+18	2,45E+04	7,60E-06
1,00E+19	2,45E+04	7,60E-07
1,00E+20	2,45E+04	7,60E-08

**Tabela 8 – Curvas mestras e Coeficientes de translação do princípio de superposição tempo-temperatura; Parâmetros “ $\alpha$ ” de evolução do dano; coeficientes de regressão das curvas características de dano pelo critério do  $G^R$  (exemplo)**

Coeficientes da Função Sigmoidal, $ E^* $ MPa				Coeficientes Shift Factor da Função Polinomial		
A	b	d	g	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>
0,947	3,396	1,263	0,602	0,0006	-0,1620	3,0000
Parâmetro “ $\alpha$ ” de evolução do dano						3,01
Coeficientes de regressão das curvas características de dano pelo critério do $G^R$						
Nº de Amostras (CPs) Consideradas						5
C vs. S				$G^R$		
Potência			Exponencial			
C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	a	B	Y	$\Delta$
1,0	1,41E-03	0,543106815	3,28E-04	0,71	1,52E+07	-1,41
	Soma do Erro Quadrático do Ajuste	6,01E-06	Soma do Erro Quadrático do Ajuste	7,11E-03	Coef. de Determinação do Ajuste ( $R^2$ )	0,981

Para uma avaliação mais completa do comportamento de misturas asfálticas com relação à deformação permanente, sugere-se realizar o ensaio triaxial SSR, proposto por Kim (2015) e Kim *et al.* (2017) com o intuito de simplificar as necessidades do ensaio TSS (*Triaxial Stress Sweep*). O ensaio SSR é realizado com corpos de prova cilíndricos submetidos a diferentes temperaturas e diferentes condições de carregamento, de acordo com a norma AASTHO TP 134/2022.

Os dados do ensaio são utilizados para calibrar o “*shift model*”, modelo de previsão proposto por Choi e Kim (2013) e o também utilizado por Kim (2015) e Kim *et al.* (2017), que relaciona a deformação permanente de misturas asfálticas com a temperatura, as tensões e o tempo de carregamento. O *shift model* é um modelo viscoplástico baseado no princípio da superposição dos efeitos tempo-temperatura (t-TS) e tempo-tensão (t-SS).

A Tabela 9 exibe, em caráter exemplificativo, os parâmetros necessários para avaliação de misturas asfálticas em termos de deformação permanente, mediante realização do teste SSR.

**Tabela 9 – Shift Model do ensaio SSR para avaliação de deformação permanente em misturas asfálticas (exemplo)**

Curva de Referência			Shift factor de tempo de carregamento reduzido		Shift factor de tensão vertical	
$\epsilon_0$	$N_1$	$\beta$	$p_1$	$p_2$	$d_1$	$d_2$
0,003	3,853	0,765	0,747	0,173	0,020	1,810

#### 4.3.4 Ligantes Asfálticos

Da mesma forma que os concretos asfálticos empregados nas pistas experimentais, a avaliação dos ligantes asfálticos utilizados na mistura deve abranger tanto as características básicas do material como alguns parâmetros avançados de caracterização. Para fins desse Guia, optou-se por dividir as necessidades laboratoriais em “Ensaio Obrigatórios” e “Ensaio Desejáveis”.

##### 4.3.4.1 Ensaio Obrigatórios

Os ensaios obrigatórios de caracterização dos ligantes asfálticos empregados em misturas asfálticas utilizadas nos segmentos monitorados envolvem a determinação da penetração (DNIT 155/2010 – ME), ponto de amolecimento (DNIT 131/2010 – ME), viscosidade pelo viscosímetro rotacional “*Brookfield*” (ABNT NBR 15184:2021), ponto de fulgor e combustão (ABNT NBR 11341:2014) e recuperação elástica (DNIT 130/2010 – ME). Quando empregado na mistura asfáltica modificada por polímeros, deve-se verificar também a estabilidade ao armazenamento do material, conforme diretrizes da norma DNIT 384/2022 – ME.

A Tabela 10 exibe, de maneira exemplificativa, o preenchimento dos resultados referentes à caracterização obrigatória dos ligantes asfálticos.

**Tabela 10 – Caracterização obrigatória de ligantes asfálticos (exemplo)**

Referência Comercial		
Refinaria		
Empresa Distribuidora		
Data do Carregamento		
Número da Nota Fiscal		
Data da Nota Fiscal		
Número do Certificado		
Data do Certificado		
Ligante Asfáltico		
Teste	Temperatura do Teste (°C)	Medida
Tipo de CAP	--	50/70
Penetração (mm)	25	55
Ponto de amolecimento (°C)	--	51
Ponto de Fulgor (°C)	--	280
Viscosidade Brookfield (cP)	135 (SP21, 20 rpm)	372
	150 (SP21, 50 rpm)	152
	177 (SP21, 100 rpm)	77
Recuperação elástica (%)	25	9,5 %
Estabilidade ao armazenamento (°C)	--	3

#### 4.3.4.2 Ensaios Desejáveis

As especificações de ligantes asfálticos são tema constante de discussão, referente à possibilidade de inclusão de requisitos relacionados ao desempenho em pavimentos.

Martins (2014) relata que as especificações SUPERPAVE, contempladas nas normativas ASTM D6373/2021 e AASHTO M 320/2022, são baseadas em propriedades reológicas, que classificam os ligantes de acordo com o tráfego e o clima, através de critérios relacionados ao desempenho do material em serviço. Estas especificações foram desenvolvidas durante o programa SHRP (*Strategic Highway Research Program*), para se avaliar as propriedades fundamentais dos ligantes, evitando problemas de deformação permanente em pavimentos, trincas a baixas temperaturas, envelhecimento, fadiga e desagregação por suscetibilidade à umidade.

Incorporado à metodologia, tem-se o sistema de classificação de ligantes denominado *Performance Grade* (PG), que avalia o material por meio de ensaios que medem suas propriedades reológicas reais. Busca-se definir dois valores de temperaturas críticas, uma máxima, *High Performance Grade* (PGH), relacionada aos sete dias consecutivos mais quentes da série histórica do local do projeto do pavimento, ligada à deformação

permanente, e outra mínima, *Low Performance Grade* (PGL), relacionada à mínima temperatura da série histórica do local do projeto do pavimento, ligada ao trincamento térmico (AASHTO M 320/2022). Posteriormente, a norma AASHTO M 332/2022 adicionou uma letra aos dois números anteriores, que indica a qual nível de tráfego o material poderá estar sujeito, seja ele padrão (S), alto (H), muito alto (VH) ou extremamente alto (E).

Para simulação do processo de envelhecimento a curto prazo, deve-se proceder à avaliação no *Rolling Thin-film Oven Test* (RTFOT), seguindo as diretrizes da normativa ABNT NBR 15235:2009. Para o processo de envelhecimento de longo prazo, a metodologia SUPERPAVE recomenda o uso do *Pressurized Aging Vessel* (PAV), descrito na norma ASTM D6521/2022.

No caso de avaliação reológica dos ligantes, deve-se proceder ensaios no equipamento DSR (*Dinamic Shear Rheometer*), em diferentes temperaturas e frequências, abrangendo todo o domínio viscoelástico, conforme preconizado por AASHTO T 315/2022.

A temperatura de PGL (*Low Performance Grade*) deve ser avaliada por meio dos resultados do equipamento BBR (*Bending Beam Rheometer*), conforme diretrizes encontradas em AASHTO T 313/2022, onde são determinados os parâmetros de rigidez de fluência (S) e capacidade de relaxação (m-value), de amostras envelhecidas no PAV.

A determinação da letra do tráfego é realizada aplicando o ensaio de *Multiple Stress Creep and Recovery* (MSCR), normatizado pela DNIT 423/2020 – ME e realizado com o uso do equipamento de DSR com placas paralelas.

Por fim, deve-se efetuar o ensaio de *Linear Amplitude Sweep* (LAS), conforme norma DNIT 439/2022 – ME, conduzido no DSR de placas paralelas, seguido pela aplicação das equações oriundas da teoria S-VECD para cálculo do comportamento à fadiga do material nas três amplitudes de deformação, para obtenção do Fator de Fadiga de Ligantes (FFL). Maiores detalhes referentes aos testes de caracterização avançada de ligantes asfálticos podem ser encontrados em Anderson *et al.* (2001), Hintz e Bahia (2013), Nascimento (2015), Behnood (2016), Kataware e Singh (2017), Cao e Wang (2018) e Possebon (2021).

A Tabela 11 apresenta, de maneira exemplificativa, o preenchimento dos resultados referentes à caracterização avançada e os ensaios desejáveis aos ligantes asfálticos.

**Tabela 11 – Caracterização avançada de ligantes asfálticos (exemplo)**

<b>Ligante Asfáltico</b>		
<b>Teste</b>	<b>Temperatura do Teste (°C)</b>	<b>Medida</b>
Tipo de ligante	--	60/85
Performance Grade (PG)	--	76 H -22
DSR  G* /sen(δ)	58	10,21 kPa
	64	6,06 kPa
	70	3,60 kPa
	76	2,15 kPa
	82	1,29 kPa
	88	0,77 kPa
<b>Ligante Envelhecido no RTFOT (75 min, 163°C)</b>		
<b>Teste</b>	<b>Temperatura do Teste</b>	<b>Medida</b>
DSR  G* /sen(δ)	58	11,60 kPa
	64	6,88 kPa
	70	4,13 kPa
	76	2,50 kPa
	82	1,53 kPa
	88	--
MSCR Jnr 3,2 (1/kPa)	64	1,11
MSCR Jnrdiff (%)	64	65,00 %
LAS	19	<b>Critério de Ruptura PSE (Pa)</b>
		Strain 1,25 % = Nf <sup>3</sup> 34.569.341
		Strain 2,5 % = Nf <sup>3</sup> 2.2012.526
		Strain 5 % = Nf <sup>3</sup> 117.163
		af = 1,160 mm <sup>1</sup>
		FFL <sup>2</sup> =2,08
		D <sup>R</sup> =0,30
<b>Ligante Envelhecido no RTFOT (75 min, 163 °C) + PAV (20 horas, 100 °C)</b>		
<b>Teste</b>	<b>Temperatura do Teste</b>	<b>Medida</b>
BBR Módulo de rigidez - S	-6	--
	-12	40,65 MPa
	-18	64,65 MPa
BBR Coeficiente angular - m	-6	--
	-12	0,322 MPa
	-18	0,282 MPa
<sup>1</sup> af: comprimento na trinca – critério de falha proposto por Hintz e Bahia (2013); <sup>2</sup> FFL: Fator de fadiga de ligante – critério proposto por Nascimento (2015); <sup>3</sup> Nf: ESALs (indicador de volume de tráfego)		

Um resumo dos ensaios necessários para cada tipo de material, as respectivas normas e a quantidade de material para coleta estão descritas no Anexo B. Destaca-se que é necessário considerar as atualizações das normas, quando existentes.

**FASE 02 – MONITORAMENTO (PÓS-EXECUÇÃO)**

A etapa de monitoramento realizada após a execução dos segmentos executados, avaliando as condições do pavimento, por meio do acompanhamento de indicadores de tráfego, estruturais, funcionais e de defeitos presentes na superfície. Com relação às atividades descritas nos itens que se seguem, são necessárias atualizações periódicas das informações relativas ao trecho monitorado.

Após o término da construção do segmento experimental, deverão ser realizados os levantamentos de afundamento de trilha de rodas e de área trincada (detalhados na subseção 4.5), visando à verificação das condições iniciais do trecho enquanto este ainda não foi aberto ao tráfego.

Após a liberação do tráfego, no início da operação do segmento, deve-se realizar a rotina completa de monitoramento, no máximo, até o término do primeiro mês, cujos dados obtidos balizarão a condição inicial de execução das pistas. Estas atividades devem ser repetidas no sexto (6º) mês e no décimo segundo (12º) mês após a abertura do trecho para o tráfego de veículos. A partir do 12º mês, as informações necessárias ao monitoramento dos segmentos devem ser atualizadas no mínimo a cada doze (12) meses. Sugere-se que, dentro das possibilidades, os dados sejam atualizados semestralmente (a cada seis meses).

Em situações excepcionais, como no caso de segmentos experimentais realizados para pesquisas em parceria com universidades, a periodicidade do monitoramento pode ser modificada, devendo-se avaliar tal situação junto ao IPR/DNIT.

Os itens a seguir descrevem as atividades necessárias ao cumprimento da rotina de monitoramento em fase de pós-execução nos segmentos experimentais.

## **5 MONITORAMENTO DO CLIMA**

Ao longo dos anos de acompanhamento do segmento experimental, devem ser coletados os dados climáticos junto ao INMET, organizando-se as informações em séries históricas mensais, partindo da data de liberação ao tráfego após a execução dos serviços de reabilitação ou implantação. Estas informações devem ser compiladas e estruturadas de forma anual para compor o banco de dados dos segmentos experimentais.

## 6 MONITORAMENTO DO TRÁFEGO

Para o monitoramento do tráfego, juntamente ao levantamento anual das condições dos trechos monitorados, devem ser coletados preferencialmente os dados do PNCT. Na ausência desses dados, deve ser realizada a contagem classificatória e, se possível, a pesagem dos veículos. Devem ser verificados todos os elementos necessários para a determinação do fluxo de veículos existente na localidade, conforme apresentado a seguir.

### 6.1 LEVANTAMENTO DETALHADO DAS CLASSES DE VEÍCULOS

O levantamento detalhado das classes de veículos que circulam pelo segmento monitorado deve ser realizado a partir da coleta de dados do tráfego (contagem classificatória por tipo de veículo e número de eixos). A contabilização dos veículos deve ser efetuada em cada uma das faixas de tráfego que constituem a rodovia. Caso a rodovia contenha fluxo de veículos em sentidos distintos, deve ser adotado o modelo de contagem bidirecional, com identificação do fator de sentido da rodovia.

Sempre que possível, recomenda-se a utilização de procedimentos de contagem automática, tais como vídeo de registro simples, identificação automática dos veículos, ou qualquer outro processo automatizado para obtenção do volume médio diário (VMD) do tráfego e dos tipos de eixos que circulam pela rodovia, capazes de gerar informações volumétricas e classificatórias do tráfego.

A Tabela 12 apresenta a ficha empregada na contagem horária de tráfego. Ela deve ser replicada para todas as 24 horas do dia, no intuito de gerar um espectro completo do fluxo de veículos na localidade.

**Tabela 12 – Ficha Horária de Contagem de Tráfego (exemplo)**

<b>Tipo de veículo</b>	<b>ID</b>	<b>(17 às 18 horas)</b>
Moto	--	749
Carro de Passeio	--	3022
Utilitário, pick-up, furgão	--	592
Ônibus (2 eixos)	--	180
Ônibus (3 eixos)	--	12
Caminhão Médio	2C	199
	3C	56
	4C	1

<b>Tipo de veículo</b>	<b>ID</b>	<b>(17 às 18 horas)</b>
Caminhão Semirreboque	2S1	0
	2S2	9
	2S3	4
	2S3 Comb.	2
	3S3	12
Duplo Semirreboque	3S2S2	1
Caminhão + Semirreboque	2C2	0
	2C3	0
	3C2	0
	3C3	0
Treminhão	3C2C2	0
Rodotrem	3S2C4	0
Outros		0

Fonte: Adaptado de Rede de Tecnologia em Asfaltos (2011).

O Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) recomenda que o período de contagem seja de 7 dias consecutivos, 24 horas por dia, em uma semana típica (não influenciada por feriado). Todavia, Bueno (2019), baseado em estudos efetuados nas pistas experimentais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), relata que o seguinte modelo de contagem semanal pode satisfatoriamente contemplar a matriz veicular da localidade:

- Domingo: contagem das 6 às 22 horas;
- Segunda-feira: dia sem contagem;
- Terça-feira: contagem das 6 às 22 horas;
- Quarta-feira: contagem 24 horas (das 6 da manhã de quarta-feira até às 6 da manhã de quinta-feira);
- Quinta-feira: contagem das 6 às 22 horas;
- Sexta-feira: dia sem contagem;
- Sábado: contagem das 6 às 22 horas.

Para rodovias com fluxo de veículos afetado em virtude de sazonalidades, é recomendação que este procedimento possa ser realizado mais de uma vez por ano.

A partir deste protocolo de contabilização, a madrugada típica (contabilizada entre as 22 horas de quarta-feira e as 6 horas de quinta-feira) pode ser aplicada para todos os dias da semana. Os resultados referentes à segunda-feira e sexta-feira são obtidos a partir da média simples dos veículos contabilizados na terça, quarta e quinta-feira.

Além da verificação do VMD, deve ser determinada a distribuição horária do tráfego no segmento experimental, mediante análise do volume médio diário determinado em pista. Os resultados devem ser dispostos conforme Tabela 13, preenchida com valores exemplificativos.

**Tabela 13 – Distribuição horária do tráfego (exemplo)**

Hora	% de Distribuição	Hora	% de Distribuição
0	0,5	12	6,1
1	0,4	13	8,0
2	0,3	14	7,0
3	0,1	15	7,0
4	0,2	16	6,2
5	0,3	17	6,6
6	2,1	18	7,6
7	6,8	19	5,3
8	7,0	20	3,9
9	6,3	21	2,4
10	6,4	22	2,3
11	6,4	23	0,9

A pesagem dos veículos comerciais deve ser realizada sempre que possível, com o objetivo de determinar o espectro de carga por eixo solicitante na estrutura. Recomenda-se que a pesagem seja realizada através de posto móvel, pelo menos, uma vez por ano, durante a etapa de monitoramento (pós-execução), atendendo à subseção 6.6 do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (DNIT, 2006).

## **7 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PISTA**

A avaliação das condições da pista diz respeito às condições estruturais e funcionais do pavimento, além da determinação dos defeitos da superfície, após a abertura da rodovia ao tráfego. O ANEXO C apresenta um modelo de tabela com as condições identificadas para a realização da avaliação das condições da pista, apresentadas de forma compilada. Para a determinação de cada uma destas condições, devem ser seguidas as recomendações apresentadas a seguir.

### **7.1 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO**

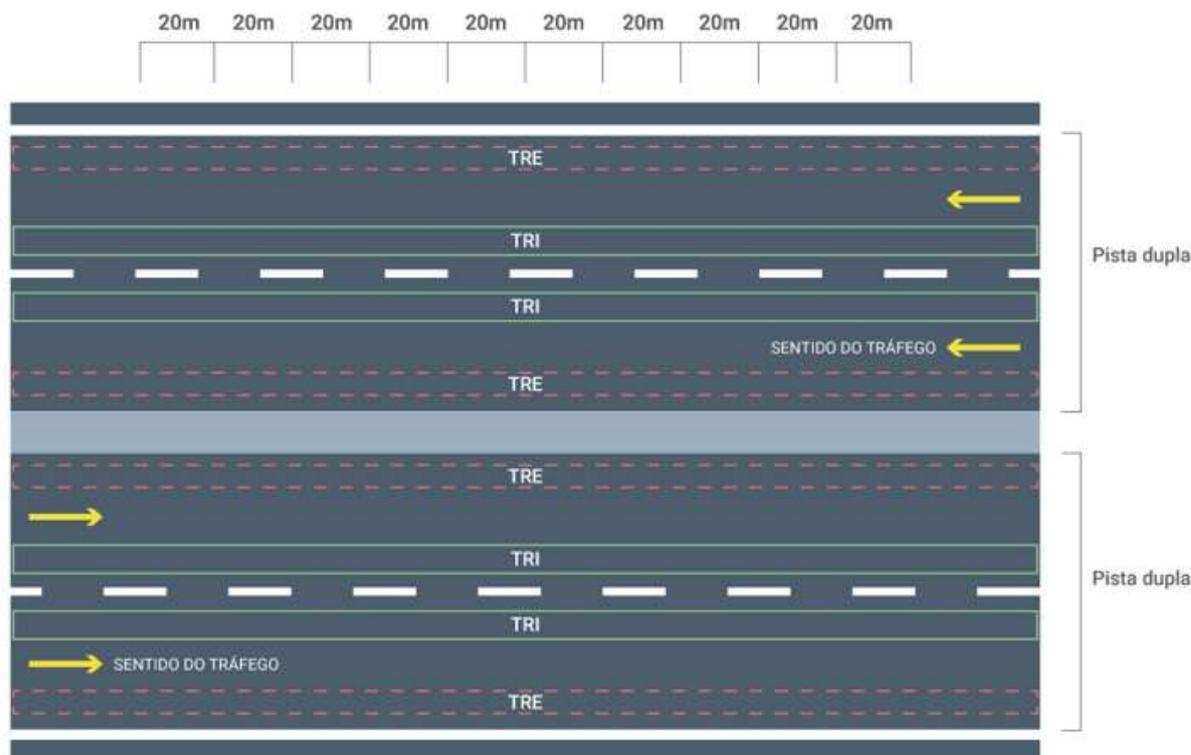
Para avaliar a condição estrutural do pavimento dos trechos monitorados, deve ser realizado o levantamento da bacia de deflexão com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), conforme diretrizes da norma DNER – PRO 273/1996. O ensaio deve ser efetuado na trilha de roda externa (TRE) de todas as estacas da pista monitorada, ou

seja, a cada 20 metros, empregando-se no mínimo sete (7) sensores para quantificar as deflexões espaçadas em relação ao prato de aplicação de carga.

A Figura 9 apresenta um esquema representativo de onde devem ocorrer as leituras em campo com o FWD (na TRE, destacada em vermelho), considerando uma rodovia em pista simples, cujos dois sentidos de tráfego sejam segmentos experimentais (neste caso, teremos dois segmentos experimentais). Para um trecho em pista dupla, o raciocínio é o mesmo, considerando a TRE de cada pista, apresentado pela Figura 10.



**Figura 9 – Levantamento deflectométrico na TRE com o FWD, pista simples**



**Figura 10 – Levantamento deflectométrico na TRE com o FWD, pista dupla**

Em cada uma das estacas, deve-se verificar a carga específica aplicada no pavimento (em torno de 40 kN), a temperatura da superfície do pavimento (TPav) e a temperatura do ar (Tar) no momento do ensaio. Não é recomendável a realização do levantamento deflectométrico durante ou após a ocorrência de precipitações, devendo-se efetuá-lo após período mínimo de 48 horas de tempo seco.

No momento de execução das leituras deflectométricas com o FWD, deve-se proceder, de maneira complementar, à leitura da bacia de deflexão com a Viga Benkelman, nos mesmos pontos onde foram realizadas as leituras com o FWD. Ambos os levantamentos deverão ser realizados no mesmo dia, sob as mesmas condições. A série histórica de cada trecho deve ser feita, preferencialmente, sempre com os mesmos equipamentos.

A Tabela 14 exhibe, a título de exemplo, o resumo das informações referentes à condição estrutural dos segmentos experimentais, oriundos de um levantamento com o FWD.

**Tabela 14 – Tabela resumo das condições estruturais do segmento experimental com o FWD (exemplo)**

Distâncias de Leitura (cm) Estacas	Carga (kN)	Deflexões (0,01 mm)							Tar (°C)	TPav (°C)
		0	20	30	45	60	90	120		
0	40,01	42,5	28,0	19,1	11,3	7,5	4,5	2,4	30	41
1	40,09	41,3	27,2	18,4	10,9	7,3	4,5	2,4	30	41
2	39,97	39,1	27,3	19,4	12,2	8,0	4,7	2,7	31	42
3	39,95	38,4	26,9	19,2	12,1	7,9	4,7	2,6	31	42
4	39,69	46,2	30,7	21,5	13,4	8,9	5,6	3,1	31	42
5	39,80	45,2	30,1	21,1	13,1	8,8	5,6	3,1	31	42
6	39,49	44,2	28,8	19,0	11,8	8,1	5,0	2,9	30	42
7	39,64	43,2	28,1	18,5	11,5	8,0	5,0	2,9	30	42
8	39,70	45,8	31,0	21,2	12,6	8,3	4,5	2,3	31	38
9	39,84	44,5	30,1	20,6	12,4	8,2	4,5	2,2	31	38
10	39,82	47,7	32,0	22,2	14,7	9,8	5,5	2,8	31	42
11	39,75	46,0	30,8	21,3	14,2	9,6	5,4	2,9	31	42
12	39,60	51,5	35,2	24,7	16,2	11,0	6,6	3,6	31	42
13	39,61	50,5	34,5	24,1	15,8	10,9	6,6	3,7	31	42
14	39,44	48,4	31,3	20,5	11,9	7,4	4,2	2,3	31	38
15	39,52	47,1	30,4	19,8	11,4	7,1	4,0	2,3	31	38

## 7.2 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

A avaliação da condição funcional do pavimento dos segmentos monitorados compreende a medida de irregularidade longitudinal e a determinação das condições de macrotextura e microtextura do revestimento asfáltico.

Para se determinar a irregularidade longitudinal, sugere-se o emprego do perfilômetro inercial a laser, em conformidade à normativa DNIT 442/2023 – PRO. Os resultados devem ser compilados em termos de IRI (*International Roughness Index*) obtidos em m/km, apresentados em intervalos constantes, preferencialmente de 20 m em 20 metros. Os valores médios são obtidos dentro do segmento experimental, oriundos dos resultados dos sensores posicionados nas trilhas de roda interna (TRI) e trilha de roda externa (TRE) da faixa de tráfego avaliada.

Para a quantificação da macrotextura, sugere-se realizar ensaio de mancha de areia, normatizado pela norma ASTM E965/2015 e ABNT NBR 16504:2016, que resulta em HS (profundidade média da mancha de areia). Outro ensaio/levantamento que descreva o parâmetro em questão também pode ser realizado. Para os segmentos

com 300 m de extensão, o ensaio selecionado deve ser realizado com espaçamento de 100 m. Caso o segmento apresente extensão de 100 m, devem ser realizados no mínimo três ensaios ao longo do trecho. Para ambos os casos, os ensaios devem ocorrer sempre na trilha de roda externa (TRE) da faixa de tráfego avaliada.

Para a determinação da microtextura, o emprego do ensaio de Pêndulo Britânico, normatizado por ASTM E303/2022, é recomendado em todas as estacas do segmento monitorado, na trilha de roda externa da faixa de tráfego avaliada. Este ensaio deve ser realizado em local próximo ao da avaliação da macrotextura e respeitando o mesmo espaçamento determinado. Medidas da temperatura da superfície do pavimento devem ser feitas em todas as estacas onde for realizada a avaliação de microtextura. Os resultados relativos ao trecho devem ser compilados pela média dos valores de resistência à derrapagem (VRD), obtidos em todas as estacas englobadas pelo segmento.

A Tabela 15 mostra o resumo das informações sobre a condição funcional dos segmentos experimentais, os valores de macrotextura e microtextura apresentados correspondem a médias das determinações por estacas. O desvio padrão (DP) da amostra e o coeficiente de variação (CV, %) também devem ser calculados.

**Tabela 15 – Tabela resumo das condições funcionais do segmento experimental (exemplo)**

Parâmetro	Irregularidade Longitudinal			Macrotextura			Microtextura		
	Tempo (meses)	IRI (m/km)	DP (m/km)	CV (%)	Hs (mm)	DP (mm)	CV (%)	VRD	DP (VRD)
1	1,90	0,54	28	0,57	0,05	9	84	13	15
6	2,08	0,79	38	0,40	0,02	5	61	4	6
12	2,25	0,65	29	0,44	0,04	9	30	3	10
18	2,31	0,82	36	0,42	0,06	14	32	5	15
24	2,41	0,99	41	0,47	0,04	9	38	5	13

### 7.3 LEVANTAMENTO DE DEFEITOS

Para o levantamento de defeitos do pavimento, com foco na determinação do percentual de área trincada (AT %) e nos afundamentos em trilha de roda (ATR, mm), o operador deve percorrer a pé toda a extensão do segmento monitorado. Durante o

percurso, a norma DNIT 005/2003 – TER, deve ser utilizada para que sejam considerados os tipos de defeitos e sua classificação.

A metodologia da norma DNIT 433/2021 – PRO visa padronizar a execução do levantamento. Conforme a norma, o segmento deverá estar demarcado fisicamente por estacas a cada 20 metros. Os defeitos deverão ser levantados por faixa de tráfego. A locação longitudinal dos defeitos utilizará como referência este estaqueamento físico, porém com resolução longitudinal de 2 metros. Transversalmente, os defeitos serão locados por faixa de rolamento, sendo que cada faixa terá 3 subdivisões transversais nomeadas: trilha interna (TI), centro (CE) e trilha externa (TE), considerando como referência o sentido do tráfego de veículos. Em síntese, a locação dos defeitos em cada faixa do segmento experimental consistirá na divisão da respectiva faixa em células de 2 metros de comprimento por 1/3 da largura da faixa de rolamento. A execução do levantamento está exposta na Figura 11.



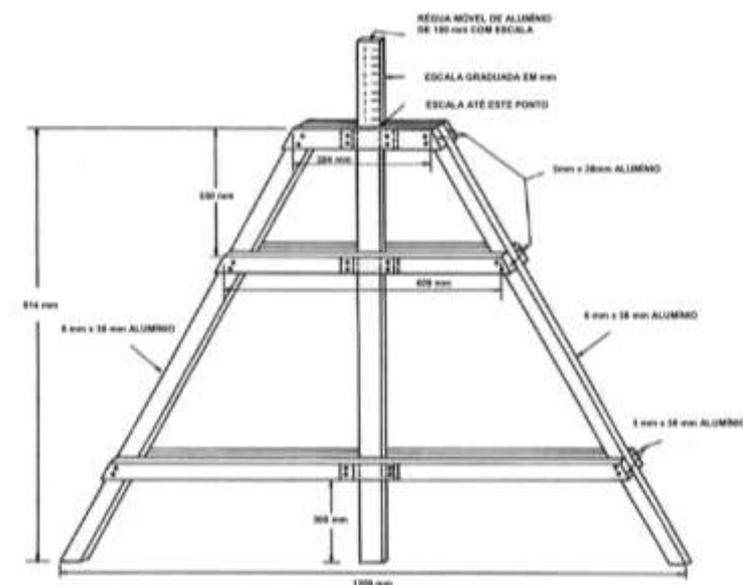
**Figura 11 – Execução do levantamento dos defeitos**

Fonte: Bueno (2019)

Na Figura 12, exemplifica-se este sistema de locação dos defeitos descritos para uma rodovia de pista dupla, com dois segmentos experimentais (Segmento 1 e Segmento 2). Na Figura 12, cada retângulo representa uma célula com 2 metros de comprimento e 1/3 da largura da faixa.



A quantificação dos afundamentos de trilha de roda deve ser efetuada pela treliça de alumínio, padronizada conforme DNIT 006/2003 – PRO e indicada na norma DNIT 433/2021 – PRO, tendo 1,20 m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio e que permite medir, em milímetros, as flechas da trilha de roda, apresentada na Figura 13.



**Figura 13 – Treliça para a medição do afundamento de trilha de rodas**

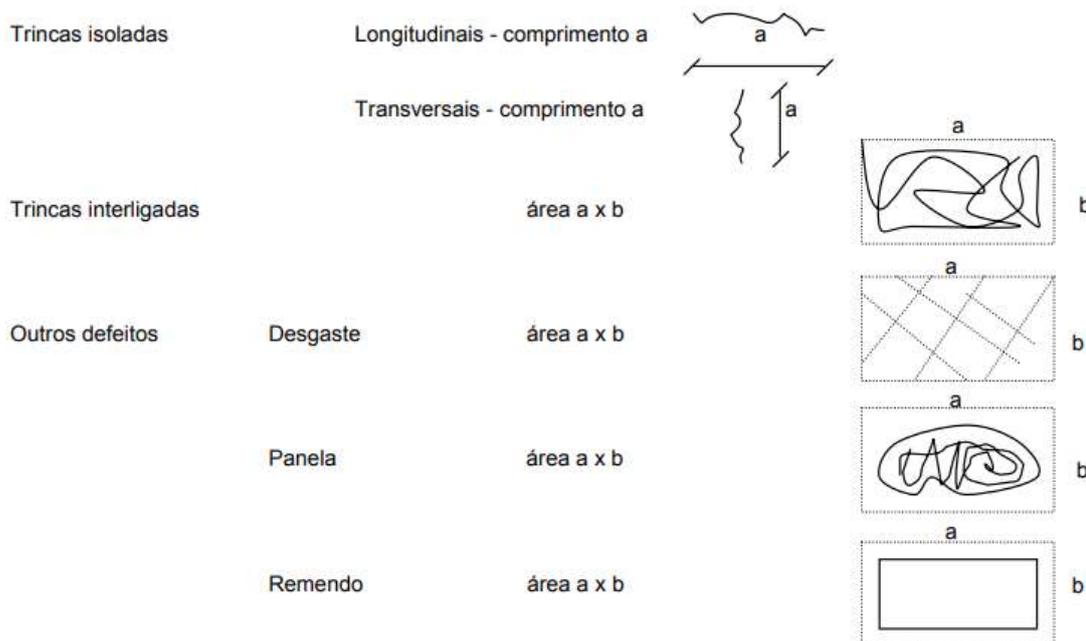
As flechas devem ser medidas em milímetros, espaçadas a cada 10 m na extensão do segmento avaliado, utilizando-se a treliça referida previamente. Estas medidas devem ser executadas nas trilhas de roda interna (TRI) e trilha de roda externa (TRE) do segmento. Os resultados finais de cada segmento serão determinados pela média simples das medidas obtidas em cada uma das trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), sendo os valores finais registrados separadamente para as distintas trilhas.

Para o monitoramento dos defeitos ao longo do tempo, a Tabela 16 exhibe, a título exemplificativo, um resumo de condição de superfície do segmento experimental, em termos de área trincada (AT %) e afundamentos em trilha de roda (ATR, mm). Os valores apresentados correspondem às médias das estacas.

**Tabela 16 – Tabela resumo das condições de um segmento experimental em termos de AT % e ATR (exemplo)**

Tempo (meses)	Área Trincada (%)	ATR Trilha Interna (mm)	ATR Trilha Externa (mm)
1	0,0	0,00	0,00
6	13,6	0,00	0,00
12	24,2	0,00	0,00
18	25,9	0,67	0,78
24	40,2	0,73	1,29

Somando-se ao levantamento de área trincada descrito anteriormente, deverá também ser realizado o levantamento da área trincada de acordo com a norma DNIT 007/2003 – PRO. Deverá ser contabilizada a área trincada existente na superfície do segmento, de acordo com o procedimento de medição de ocorrências apresentado na Figura 14.



**Figura 14 – Medição das ocorrências na superfície do segmento**

Os defeitos indicados na norma devem ser descritos e codificados após análise do segmento, sendo convenientemente inventariados e transcritos na ficha apresentada pelo normativo. Mais informações acerca do levantamento podem ser consultadas na norma DNIT 007/2003 – PRO.

Diante de todos os levantamentos indicados para serem realizados, a Tabela 17 apresenta um resumo da periodicidade do monitoramento pós-execução dos segmentos experimentais.

Destaca-se que, em situações excepcionais, a periodicidade do monitoramento pode ser modificada, devendo-se avaliar tais situações junto ao IPR/DNIT.

**Tabela 17 – Resumo dos levantamentos de monitoramento (pós-execução)**

<b>Descrição</b>	<b>Antes de liberar o tráfego</b>	<b>1º mês</b>	<b>6 meses</b>	<b>1º ano</b>	<b>Anos seguintes</b>	<b>Características do levantamento</b>
Deflexão com FWD e Viga Benkelman	-	x	x	x	x	TRE a cada 20m.
Irregularidade Longitudinal (IRI)	-	x	x	x	x	Contínuo, calculado em intervalos constantes de 20m em 20m.
Mancha de areia (macrotextura)	-	x	x	x	x	TRE a cada 100m (segmentos de 300m); no mínimo 3 pontos na TRE (segmentos de 100m).
Pêndulo Britânico (microtextura)	-	x	x	x	x	TRE a cada 100m (segmentos de 300m); no mínimo 3 pontos na TRE (segmentos de 100m).
Área Trincada	x	x	x	x	x	De acordo com os procedimentos das normas DNIT 433/2021-PRO e DNIT 007/2003-PRO.
Afundamento de Trilha de Rodas (ATR)	x	x	x	x	x	TRE e TRI, a cada 10m.
Contagem de Tráfego	-	x	-	x	x	Dados PNCT ou por vídeo registro ou 7 dias/24horas.
Dados Climáticos	-	x	-	x	x	Dados INMET, anuais.

**FASE 03 – TRATAMENTO DE DADOS**

Decorrida a fase de monitoramento pós-execução dos segmentos experimentais, o envio dos dados obtidos ao IPR se faz essencial para que seja realizado o tratamento dos dados. Para o correto uso, os dados coletados devem ser continuamente lançados em planilha que pode ser encontrada no site do IPR:

<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/planilha-padrao-pro-medina>

Esta fase segue em desenvolvimento e não será contemplada de forma detalhada nesta versão do Guia.

## **8      CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista, as orientações apresentadas nesse Guia, os responsáveis pela implantação e monitoramento dos segmentos experimentais PRO-MeDiNa devem manter os resultados atualizados e organizados conforme as necessidades expostas.

É fundamental a manutenção das equipes de monitoramento, dos equipamentos utilizados e dos protocolos de teste empregados, tanto em campo quanto em laboratório, para que a integridade dos dados gerados nos trechos seja mantida em sua totalidade.

Os dados coletados nas pistas devem ser continuamente lançados em planilha que pode ser encontrada no site do IPR:

<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/planilha-padrao-pro-medina>

A referida planilha deverá ser encaminhada ao IPR, para o e-mail: [promedina@dnit.gov.br](mailto:promedina@dnit.gov.br). O envio deve ser realizado após a caracterização dos materiais e após os períodos previstos de monitoramento. Dessa forma, serão realizadas as ações necessárias para que os dados possam ser utilizados no aperfeiçoamento da calibração do novo método de dimensionamento nacional.



 	
<h2>ETIQUETA PARA COLETA DE AMOSTRAS</h2>	
Segmentos experimental:	Data e hora:
Camada do pavimento:	Tipo de material:
Estaca:	Temperatura:
Quantidade:	Responsável:
Umidade ótima:	Densidade:
Observações:	

Figura A1 – Modelo de etiqueta para coleta de material granular ou solo

 	
<h2>ETIQUETA PARA COLETA DE AMOSTRAS</h2>	
Segmento experimental:	Data e hora:
Camada do pavimento:	Tipo de material:
Estaca:	Temperatura ambiente:
Quantidade:	Responsável:
Temperatura da massa asfáltica (momento da aplicação):	Grau de Compactação (GC):
Observações:	

Figura A2 – Modelo de etiqueta para coleta de misturas asfálticas

**ANEXO B**

**Tabela B1 – Resumo dos ensaios, normas e quantidade de coleta de materiais.**

<b>Material</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Norma</b>	<b>Quantidade de coleta (por camada)</b>
Solos e Materiais Granulares	Classificação MCT, TRB ou SUCS	DNIT 256/2023 – ME, DNIT 258/2023 – ME ou Manual de Pavimentação (LL, LP e Granulometria)	350 kg se totalmente passante na peneira de 25 mm. 600 kg se for apenas parcialmente passante na peneira de 25 mm.
	Módulo de Resiliência	DNIT 134/2018 – ME	
	Deformação Permanente	DNIT 179/2018 – IE	
Materiais Estabilizados Quimicamente	Resistência à tração por compressão diametral	DNIT 136/2018 – ME	350 kg se totalmente passante na peneira de 25 mm + 100 kg de material estabilizante. 600 kg se for apenas parcialmente passante na peneira de 25 mm + 100 kg de material estabilizante.
	Resistência à compressão simples	DNER – ME 091/98, DNER – ME 201/94 ou DNER – ME 180/94	
	Módulo de Resiliência	DNIT 181/2018 – ME	
	Fadiga	DNIT 434/2022 – ME	
Misturas asfálticas - Obrigatórios	Teor de ligante e granulometria da mistura	DNIT 158/2011 – ME, DNER – ME 053/94 ou ASTM D 6307/2019	100 kg de mistura usinada (pronta) + 300 kg na proporção do projeto de dosagem + 60 kg material de enchimento.
	Incluir a Gmb e Gmm	DNIT 428/2022 – ME e DNIT 427/2020 – ME	
	Resistência à tração por compressão diametral	DNIT 136/2018 – ME	
	Dano por umidade induzida	DNIT 180/2018 – ME	
	Módulo de Resiliência	DNIT 135/2018 – ME	
	Fadiga	DNIT 183/2018 – ME	
	<i>Flow Number</i>	DNIT 184/2018 – ME	

<b>Material</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Norma</b>	<b>Quantidade de coleta (por camada)</b>
Misturas asfálticas - Desejáveis	<i>Stress Sweep Rutting (SSR)</i>	AASTHO TP 134/2022	300 kg na proporção do projeto de dosagem + 60 kg material de enchimento.
	Módulo Dinâmico	DNIT 416/2019 – ME	
	Fadiga por tração direta	AASTHO T 400/2022	
Ligantes asfálticos - Obrigatórios	Penetração	DNIT 155/2010 – ME	36 litros
	Ponto de amolecimento	DNIT 131/2010 – ME	
	Viscosidade rotacional ( <i>Brookfield</i> )	ABNT NBR 15184:2021	
	Recuperação elástica	DNIT 130/2010 – ME	
	Estabilidade à estocagem (apenas modificados)	DNIT 384/2022 – ME	
Ligantes asfálticos - Desejáveis	Determinação do <i>Performance Grade (PG)</i>	ASTM D 6373/2021a ou AASHTO M 320/2022	36 litros
	<i>Rolling Thin-film Oven Test (RTFOT)</i>	ABNT NBR 15235:2009	
	<i>Pressurized Aging Vessel (PAV)</i>	ASTM D 6521/2022	
	<i>Dinamic Shear Rheometer (DSR)</i>	AASTHO T/2022	
	<i>Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR)</i>	DNIT 423/2020 – ME	
	<i>Linear Amplitude Sweep (LAS)</i>	DNIT 439/2022 – ME	

**ANEXO C**



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO TP 134/2022 - Stress Sweep Rutting (SSR) Test Using Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT). Washington (EUA), 2022
- b) \_\_\_\_\_. AASHTO T 400/2022. Standard Method of Test for Determining the Damage Characteristic Curve and Failure Criterion Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT) Cyclic Fatigue Test. Washington (EUA), 2022.
- c) \_\_\_\_\_. AASHTO M 320/2022. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder. Washington (EUA), 2022.
- d) \_\_\_\_\_. AASHTO T 313/2022. Standard Method of Test for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR). Washington (EUA), 2022.
- e) \_\_\_\_\_. AASHTO T 315/2022. Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR). Washington (EUA), 2022.
- f) \_\_\_\_\_. AASHTO M 332/2022. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test. Washington (EUA), 2022.
- g) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E303/2022. Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester. West Conshohocken, PA, 2022.
- h) \_\_\_\_\_. ASTM E950/2022. Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces. West Conshohocken (EUA), 2022.
- i) \_\_\_\_\_. ASTM D 6307/2019. Standard Test Method for Asphalt Content of Asphalt Mixture by Ignition Method. West Conshohocken (EUA), 2019.
- j) \_\_\_\_\_. ASTM D6373/2021a. Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder. West Conshohocken (EUA), 2021a.
- k) \_\_\_\_\_. ASTM E965/2015 (2019). Standard Test Method for Measuring

Pavement Macrottexture Depth Using a Volumetric Technique. West Conshohocken (EUA), 2015 (2019).

- l) \_\_\_\_\_. ASTM D6521/2022. Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV), West Conshohocken (EUA), 2022.
- m) ANDERSON, D. A. et al. Evaluation of fatigue criteria for asphalt binders. Transportation Research Record, v. 1766, p. 48-56, 2001.
- n) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11341:2014 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro/RJ, 2014.
- o) \_\_\_\_\_. ABNT NBR 11803:2013 – Materiais para base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento – Requisitos. Rio de Janeiro/RJ, 2013.
- p) \_\_\_\_\_. ABNT NBR 14855:2015 – Ligantes asfálticos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno. Rio de Janeiro/RJ, 2015.
- q) \_\_\_\_\_. ABNT NBR 15184:2021. Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro/RJ, 2021.
- r) \_\_\_\_\_. ABNT NBR 15235:2009 – Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional. Rio de Janeiro/RJ, 2009.
- s) \_\_\_\_\_. ABNT NBR 16504:2016 – Misturas asfálticas – Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria – Método da mancha de areia. Rio de Janeiro/RJ, 2016.
- t) BEHNOOD, A. Rheological properties of asphalt binders: An analysis of the Multiple Stress Creep Recovery test. Doctoral dissertation, Purdue University (EUA), 2016.
- u) BOEIRA, F. D. Estudo da rigidez, da deformação permanente e da fadiga de misturas asfálticas com ligantes convencionais e modificados. 286 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2018.

- v) BUENO, L. D. Contribuição para a previsão empírico-mecanicista da irregularidade longitudinal e seus desdobramentos econômicos em pavimentos asfálticos. 370 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2019.
- w) CAO, W.; WANG, C. A new comprehensive analysis framework for fatigue characterization of asphalt binder using the Linear Amplitude Sweep test. *Construction and Building Materials*, v. 171, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.125>.
- x) CHOI, Y. T.; KIM, Y. R. Development of a calibration testing protocol for the permanent deformation model of asphalt concrete. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2373, p. 34–43., 2013.
- y) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER – ME 010/94: Cimentos asfálticos de petróleo – determinação do teor de betume.
- z) \_\_\_\_\_. DNER – ME 052/94: Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy” – Método de ensaio.
- aa) \_\_\_\_\_. DNER – ME 053/94: Mistura betuminosas – Percentagem de betume. Método de ensaio.
- bb) \_\_\_\_\_. DNER – ME 091/98: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Método de ensaio.
- cc) \_\_\_\_\_. DNER – ME 092/94: Solo – Determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia – Método de ensaio.
- dd) \_\_\_\_\_. DNER – ME 180/94: Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada – Determinação da resistência à compressão simples – Método de ensaio.
- ee) \_\_\_\_\_. DNER – ME 201/94: Solo-cimento – Compressão axial de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio.
- ff) \_\_\_\_\_. DNER – PRO 273/96: Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer”.

- gg) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia.
- hh) \_\_\_\_\_. DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento.
- ii) \_\_\_\_\_. DNIT 031/2006 – ES: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço.
- jj) \_\_\_\_\_. DNIT 007/2003 – PRO: Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos – Procedimento.
- kk) \_\_\_\_\_. DNIT 129/2011 – EM: Cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico – Especificação de material.
- ll) \_\_\_\_\_. DNIT 130/2010 – ME: Determinação da recuperação elástica de materiais asfálticos pelo ductilômetro – Método de Ensaio.
- mm) \_\_\_\_\_. DNIT 131/2010 – ME: Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola – Método de ensaio.
- nn) \_\_\_\_\_. DNIT 133/2010 – ME: Pavimentação asfáltica – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman – Método de ensaio.
- oo) \_\_\_\_\_. DNIT 134/2018 – ME: Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio
- pp) \_\_\_\_\_. DNIT 135/2018 – ME: Pavimentação asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação do Módulo de Resiliência – Método de ensaio.
- qq) \_\_\_\_\_. DNIT 136/2018 – ME: Pavimentação asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio.
- rr) \_\_\_\_\_. DNIT 141/2022 – ME: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Método de ensaio.

- ss) \_\_\_\_\_. DNIT 155/2010 – ME: Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio.
- tt) \_\_\_\_\_. DNIT 158/2011 – ME: Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet – Método de ensaio.
- uu) \_\_\_\_\_. DNIT 179/2018 – IE: Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- vv) \_\_\_\_\_. DNIT 180/2018 – ME: Misturas asfálticas – Determinação do dano por umidade induzida – Método de ensaio.
- ww) \_\_\_\_\_. DNIT 181/2018 – ME: Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio.
- xx) \_\_\_\_\_. DNIT 183/2018 – ME: Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio.
- yy) \_\_\_\_\_. DNIT 184/2018 – ME: Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio.
- zz) \_\_\_\_\_. DNIT 384/2022 – ME: Pavimentação – Estabilidade ao armazenamento de ligantes modificados por polímero – Método de ensaio.
- aaa) \_\_\_\_\_. DNIT 416/2019 – ME: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo dinâmico – Método de ensaio.
- bbb) \_\_\_\_\_. DNIT 423/2020 – ME: Pavimentação – Ligante asfáltico – Fluência e recuperação de ligantes asfálticos determinados sob tensões múltiplas (MSCR) – Método de ensaio.
- ccc) \_\_\_\_\_. DNIT 427/2020 – ME: Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa máxima medida e da massa específica máxima medida em amostras não compactadas – Método de ensaio.
- ddd) \_\_\_\_\_. DNIT 428/2022 – ME: Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio.

- eee) \_\_\_\_\_. DNIT 433/2021 – PRO: Pavimentação – Levantamento do percentual de área trincada e de afundamento de trilha de roda de pavimento asfáltico em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos de curta extensão – Procedimento.
- fff) \_\_\_\_\_. DNIT 434/2022 – ME: Pavimentação – Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada em camadas estabilizadas quimicamente – Método de ensaio.
- ggg) \_\_\_\_\_. DNIT 439/2022 – ME: Pavimentação – Ligante asfáltico – Avaliação da resistência à fadiga de ligantes asfálticos usando varredura de amplitude linear (LAS – *Linear Amplitude Sweep*) – Método de ensaio.
- hhh) \_\_\_\_\_. DNIT 442/2023 – PRO: Pavimentação – Levantamento do perfil longitudinal de pavimentos com perfilômetro inercial – Procedimento.
- iii) \_\_\_\_\_. DNIT 258/2023 – ME: Solos compactados no equipamento miniatura – Mini MCV – Método de ensaio.
- jjj) \_\_\_\_\_. DNIT 259/2023 – CLA: Solos – Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura – Classificação.
- kkk) \_\_\_\_\_. Publicação IPR 723: Manual de Estudos de Tráfego. Rio de Janeiro/RJ, 2006.
- lll) \_\_\_\_\_. Publicação IPR 719: Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro/RJ, 2006.
- mmm) FRANCO, F. A. C. P.; MOTTA, L. M. G. Execução de Estudos e Pesquisa para Elaboração de Método Mecanístico – Empírico de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos. Relatório Parcial IV (A). Projeto DNIT TED nº 682/2014. Processo nº 50607.002043/2013-00. Convênio UFRJ-DNIT, Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- nnn) GUIMARÃES, A. C. R. Um método mecanístico-empírico para previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos. 367 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2009.

- ooo) HINTZ, C.; BAHIA, H. Simplification of linear amplitude sweep test and specification parameter. *Transportation Research Record*, v. 2370, p. 10-16, 2013. DOI: 10.3141/2370-02.
- ppp) INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. Rede de dados. <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>.
- qqq) KATAWARE, A. V.; SINGH, D. A study on rutting susceptibility of asphalt binders at high stresses using MSCR test. *Innovative Infrastructure Solutions*, v. 2, p. 4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41062-017-0051-1>.
- rrr) KIM, D. Modulus and Permanent Deformation Characterization of Asphalt Mixtures and Pavements. (PhD dissertation). North Carolina State University. Raleigh, North Carolina, 2015.
- sss) KIM, D.; KIM, Y. R. Development of Stress Sweep Rutting (SSR) test for permanent deformation characterization of asphalt mixture. *Construction and Building Materials* 154, p. 373–383, 2017.
- ttt) LIMA, C. D. A. D. Avaliação da deformação permanente de materiais de pavimentação a partir de ensaios triaxiais de carga repetidas. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, 2020.
- uuu) MARTINS, A. T. Contribuição para a validação do ensaio de resistência ao dano por fadiga para ligantes asfálticos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, 2014.
- vvv) MIDGLEY, L.; R. YEO. The Development and Evaluation of Protocols for the Laboratory Characterisation of Cemented Materials. Austroads Technical Report. Published by Austroads Incorporated. Austroads Publication No. AP-T101/08, 2008.
- www) NASCIMENTO, L. A. H. Implementation and Validation of the Viscoelastic Continuum Damage Theory for Asphalt Mixture and Pavement Analysis in Brazil. 335p. Tese de Doutorado. North Carolina State University. North Carolina (EUA), 2015.
- xxx) NOGAMI, J.S. e VILLIBOR D.F. Uma Nova Classificação de Solos para

- Finalidades Rodoviárias. In Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. Anais. COPPE/UFRJ-CNPQ. Rio de Janeiro/RJ, 1981.
- yyy) PAVI, D.R. Identificação De Fatores Construtivos Que Contribuem Para O Aumento Da Irregularidade Longitudinal A Partir Do Monitoramento De Implantação E Restauração De Trechos Rodoviários. 2019. 333p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2019.
- zzz) PETROBRAS. REDE DE TECNOLOGIA EM ASFALTOS (Rede Temática de Asfalto). Manual de Execução de Trechos Monitorados. Rio de Janeiro/RJ, 2011.
- aaaa) POSSEBON E. P. *Advanced Characterization of Brazilian Bitumens and Mixtures*. 332p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2021
- bbbb) SCHUSTER, S. L. Estudo do comportamento à fadiga de misturas asfálticas aplicadas em campo por meio da teoria viscoelástica do dano contínuo. 270 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2018.