

PROJETO DE PESQUISA CONCEPA – LAPAV

**“Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com
Objetivo de Validar Método Racional de Dimensionamento de
Pavimentos Flexíveis – Fase 2”**



RELATÓRIO FINAL

Porto Alegre
Outubro de 2012

Índice

1. INTRODUÇÃO	4
1.1 BREVE HISTÓRICO DO DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS	6
1.2 O TEMA DE PESQUISA E OS OBJETIVOS PROPOSTOS.....	9
1.3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	11
1.4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	13
1.4.1 Métodos e técnicas utilizadas:	13
1.4.2 Etapas:	14
1.5 ESTRUTURA DO RELATÓRIO	14
2. MÉTODO DE PESQUISA	16
2.1 PLANO DE MONITORAÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL E SEU ENTORNO	17
2.1.1 Monitoramento do Pavimento Experimental.....	18
2.1.2 Monitoramento dos Efeitos Climáticos no Comportamento Mecânico dos Materiais Empregados no Pavimento Experimental.....	33
2.1.3 Avaliações Complementares.....	34
3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS INICIAIS DOS TRECHOS EXPERIMENTAIS.....	36
3.1. PROJETO BÁSICO UTILIZADO NA BR-290/RS.....	36
3.1.1. Estrutura do Pavimento	36
3.1.2. Condições de Drenagem	37
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EM LABORATÓRIO	39
3.2.1. Revestimento Asfáltico	39
3.2.2. Base de Brita Graduada.....	41
3.2.3. Sub-Base de Macadame Seco	43
3.2.4. Reforço do Subleito com Areia.....	43
3.2.5. Reforço do Subleito com Pedra.....	45
3.3. AVALIAÇÃO DO TRÁFEGO.....	45

3.4. DADOS DO CLIMA.....	46
3.5 DIMENSIONAMENTO RACIONAL DO PAVIMENTO.....	47
3.5.1 O SISPAV	47
3.5.2 O EVERSTRESS 5.0	49
3.5.3 O M-EPDG.....	53
3.6 EXECUÇÃO DO PAVIMENTO NO TRECHO MONITORADO	57
3.6.1. Reforço do Subleito.....	57
3.6.2. Sub-base de Macadame Seco.....	59
3.6.3. Base de Brita Graduada.....	62
3.6.4. Revestimento Asfáltico	64
4. ANÁLISE DOS DADOS INICIAIS DOS TRECHOS EXPERIMENTAIS	75
4.1 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL.....	75
4.1.1. Análise das Deflexões Admissíveis no Pavimento.....	75
4.1.2. Análise das Propriedades do Revestimento Executado	76
4.1.3. Análise dos Módulos de Resiliência em campo	80
4.2 AVALIAÇÃO FUNCIONAL.....	81
4.2.1. Análise da Serventia	82
4.2.2. Irregularidade Longitudinal.....	82
4.2.3. Análise da Aderência Pneu-Pavimento	82
4.3 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS CLIMÁTICOS.....	85
4.3.1. Análise da Precipitação Mensal Média	85
4.3.2. Difusão de Calor nas Camadas do Pavimento.....	86
4.4 PREVISÃO DO DESEMPENHO	87
4.4.1. Dano Acumulado Devido à Fadiga do Revestimento	88
4.4.2. Variação do MR no Primeiro Ano de Serviço	89
4.4.3. Efeito da Variação de Umidade na Camada de Base	90

4.4.4. Envelhecimento do Ligante Asfáltico	90
5. MONITORAÇÃO DOS TRECHOS EXPERIMENTAIS	93
5.1 DESEMPENHO DO TRECHO EXPERIMENTAL I (km 14+700 ao km 14+400)	93
5.1.1 Avaliação Estrutural - Deflexão	93
5.1.2 Avaliação Estrutural - Deformações permanentes (afundamentos)	96
5.1.3 Avaliação Funcional - Irregularidade Longitudinal (IRI) e Valor de Serventia Atual (VSA)	98
5.1.4 Avaliação Funcional - Defeitos	98
5.1.5 Avaliação Funcional - Aderência pneu-pavimento.....	99
5.2 DESEMPENHO DO TRECHO EXPERIMENTAL II (km 5+500 ao km 5+000)	99
5.2.1 Avaliação Estrutural - Deflexão	99
5.2.2 Avaliação Estrutural - Deformações permanentes (afundamentos)	102
5.2.3 Avaliação Funcional - Irregularidade Longitudinal (IRI) e Valor de Serventia Atual (VSA)	103
5.2.4 Avaliação Funcional - Defeitos	104
5.2.5 Avaliação Funcional - Aderência pneu-pavimento.....	104
5.3 DESEMPENHO DO TRECHO EXPERIMENTAL III (km 4+960 ao km 4+860)	104
5.3.1 Avaliação Estrutural - Deflexão	104
5.4 DESEMPENHO DOS TRECHOS EXPERIMENTAIS CONSIDERANDO O EFEITO DA VARIAÇÃO DE CARGA	105
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
EQUIPE EXECUTORA.....	113

1. INTRODUÇÃO

Como na maioria dos países do mundo, no setor de transportes brasileiro o modo rodoviário predomina nas movimentações de passageiros e cargas. Idealmente, a matriz de transportes deveria ser equilibrada entre os diferentes modos de transporte, entretanto, a realidade brasileira se mostra pouco desenvolvida na logística de transporte. Este fato resulta em uma grave distorção da matriz de transportes, pois a participação do transporte de cargas e passageiro através do modo rodoviário é muito superior aos outros modos de transporte.

Contrariamente ao que se possa imaginar, mesmo com o modo predominante de transportes sendo o rodoviário, esse setor apresenta carências históricas em termos de infraestrutura. Não obstante tenha sido na década de 1940 que tenha ocorrido a expansão da malha viária brasileira, poucos foram os períodos de desenvolvimento e crescimento do setor rodoviário. Em consonância com o observado em outras nações, as épocas em que ocorreram os maiores investimentos em rodovias foram a 2ª metade dos anos 1950 (Governo de Juscelino Kubitschek) e entre 1967 e 1975 (Governos militares de Costa e Silva, Medici e Geisel).

É interessante salientar que, mesmo nos Estados Unidos de Norte América, berço do automóvel, apenas no final dos anos 1950 completou-se o sistema rodoviário interestadual (equivalente ao sistema de rodovias federais brasileiros). Também, a abundância de crédito a baixo custo nos anos que antecederam a 1ª Crise do Petróleo (1974-75), favoreceu os grandes investimentos em infraestrutura em países em desenvolvimento, como o Brasil.

Entretanto, as duas crises do petróleo (a segunda em 1980) encontraram o País em uma condição de extrema dependência externa quanto ao fornecimento de petróleo. O endividamento que tinha servido para alavancar a infraestrutura do País destinou-se a partir de 1974 a cobrir o déficit de conta corrente, gerado pela necessidade de se importar quase 90% do petróleo consumido.

As taxas de juros internacionais aumentaram notavelmente e com elas o endividamento brasileiro. O País teve de recorrer a empréstimos do Fundo Monetário Internacional (FMI), e as medidas de controle de gastos impostas por esse órgão encerrou o ciclo de expansão do sistema rodoviário iniciado nos anos JK.

Com a crise econômica do Estado e com a extinção do “Fundo Rodoviário Nacional”, na segunda metade dos anos 80, observou-se um crescimento mínimo da Malha Rodoviária Federal.

Como consequência deste período de estagnação, que avançou nos anos 1980-1990 (a “década perdida”), a malha brasileira não evoluiu, sua extensão pavimentada permaneceu praticamente imutável e escassearam recursos mesmo para a conservação da malha existente (CBIC, 2000).

Atualmente, no Brasil, a extensão total da malha rodoviária é de 1.610.076 km, sendo que a extensão pavimentada é de apenas 196.094 km, o que equivale a 12,2% da malha total. Conforme a Pesquisa Rodoviária da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2006), cujo objetivo é avaliar o estado geral de conservação da malha rodoviária, constata-se que 75% dos trechos avaliados foram classificados como deficientes. Desse percentual, 54,5% apresentaram alguma imperfeição no pavimento, 70,3% têm deficiência na sinalização e 78,5% possuem problemas na geometria da via.

O mau estado de conservação da rede rodoviária tem proporcionado diversos prejuízos econômicos ao país, tais como: perda de produção, aumento do custo operacional dos veículos, maiores riscos de acidentes, entre outros.

Este quadro de estagnação vem sendo alterado em ritmo acelerado com as obras implantadas pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), no segundo Governo do Presidente Luís Inácio Lula da Silva (2006-2010). Vultosos investimentos vêm sendo destinados à recuperação da combalida infraestrutura nacional, com ênfase ao Sistema Rodoviário Federal.

No Rio Grande do Sul obras reivindicadas historicamente pela sociedade estão em fase avançada. Destacam-se a Obra de Modernização e Ampliação de Capacidade da BR-101/RS, a construção da BR-448/RS, trecho Sapucaia do Sul-Porto Alegre (Rodovia do Parque), a duplicação da BR-392/RS (trecho Rio Grande-Pelotas), entre outras.

O PAC disponibiliza recursos para a recuperação e expansão da malha viária brasileira. Desta forma, os projetos de dimensionamento de pavimentos voltaram a ocupar um espaço importante no cenário nacional, enfrentando um novo desafio, visto que o tráfego comercial que solicita os pavimentos tem crescido de forma exponencial.

No entanto, a normalização brasileira para o dimensionamento de pavimentos não apresentou evolução durante o período de estagnação do setor rodoviário, limitando-se somente ao método adaptado em 1966 pelo Eng^o Murillo Lopes de Souza baseado nas curvas do Índice de Suporte Califórnia (*California Bearing Ratio* ou CBR) do Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano (USACE). Daquela época até os dias de hoje, os conhecimentos acumulados sobre pavimentação avançaram consideravelmente, ao ponto do dimensionamento de pavimentos ser realizado com base em princípios mecânicos e não apenas através de métodos empíricos.

1.1 BREVE HISTÓRICO DO DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

Em palestra apresentada na cidade de Ijuí (RS), durante o Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica no Rio Grande do Sul (GEORS) de 2007, o Professor Washington Peres Núñez salientou os principais aspectos da notável *Rankine Lecture* apresentada pelo Professor Stephen F. Brown (1996), na qual é apresentada uma visão da evolução das metodologias de dimensionamento de pavimentos flexíveis. Os pontos mais destacados dessa *Rankine Lecture* são a seguir reproduzidos.

- A lenta marcha rumo a um dimensionamento racional de pavimentos flexíveis iniciou em 1938, quando o engenheiro Porter apresentou recomendações quanto à espessura de revestimentos asfálticos, baseadas na experiência acumulada no Estado da Califórnia e nos ensaios de CBR (ou ISC) e expansão.

- É mister destacar que, já em 1938, o próprio Porter já reconhecia que “... os valores de CBR não são uma medida direta de capacidade de suporte dos materiais.
- Mais tarde, em 1950, Porter acrescentaria que “...os resultados (do CBR) são escassamente influenciados pela deformação elástica”. No mesmo ano, o renomado pesquisador Turnbull observaria que “... o ensaio CBR é essencialmente um ensaio de cisalhamento simples e o CBR é um índice de tensão cisalhante”.
- Entre muitas apreciações sobre o ensaio, em 1982, os pesquisadores Hight e Stevens chamaram a atenção para o fato de que “... o estado de tensões efetivas dentro do cilindro CBR é desconhecido e não há controle de drenagem”. Nutt complementaria afirmando que “não existe uma relação direta entre o CBR e a resistência ou a deformabilidade”.

Em face de essas importantes limitações, cabe perguntar-se como surgiu a “cultura do CBR”?

- Durante a 2ª Guerra Mundial, o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) decidiu estender o emprego das curvas de dimensionamento de Porter, baseadas no CBR, para enfrentar o desafio de pavimentar pistas de pouso, na frente do Pacífico.
- Em um simpósio da *American Society of Civil Engineers* (ASCE), realizado em 1950, enfatizou-se que as curvas de dimensionamento baseadas no CBR destinavam-se a proporcionar condições de tráfego a pavimentos aeroportuários, que deveriam durar “dias ou semanas, não anos”. Ficou claro que o CBR deveria ser entendido como um índice de resistência ao cisalhamento e que as curvas de dimensionamento apresentadas por Porter destinavam-se exclusivamente a proteger o subleito de pavimentos delgados contra a ruptura por cisalhamento.

É importante destacar que no Estado da Califórnia, o CBR deixou de ser usado há 60 anos!

Ainda, conforme Brown (1996), a longa marcha rumo a metodologias racionais para dimensionamento de pavimentos flexíveis tem como ponto de partida as soluções gráficas, apresentadas, nos anos 1940, por Burmister, nas quais se considera o pavimento como um sistema constituído por 2 ou 3 camadas.

- Em 1955, o engenheiro Francis Hveem, estabeleceu relações entre o trincamento por fadiga de revestimentos asfálticos e a magnitude dos deslocamentos elásticos superficiais (deflexões), para os que contribuem com todas as camadas do pavimento e o subleito.
- De 1958 a 1960, realizou-se, no estado de Illinois, o *AASHO Road Test*, no qual pavimentos flexíveis e rígidos foram solicitados por tráfego real aplicado por caminhões. O legado do *AASHO Road Test* inclui a introdução de conceitos como serventia, a proposta de fatores de equivalência de carga e de modelos de previsão de desempenho. Ainda forneceu as bases para o Guia para Dimensionamento de Pavimentos da AASHO (*AASHO Guide for Design of Pavement Structures*). Esse procedimento empírico foi revisto em várias oportunidades e a última versão (1993) foi substituída pelo procedimento empírico-mecanístico (AASHTO, 2002), disponibilizado na Internet em 2004.
- Os resultados do *AASHO Road Test* motivaram a realização da 1ª Conferência Internacional sobre Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos, em Ann Arbor, Michigan. Nessa Conferência, e também na de 1967, foram apresentadas soluções para cálculo de tensões e deformações em sistemas de múltiplas camadas, aproveitando avanços computacionais.

Nos anos 1960-1970 registrou-se uma grande evolução de programas computacionais com modelagem elástico-linear (como, por exemplo, o ELSYM5), elástico não linear (como, por exemplo, o ILLIPAVE) e viscoelástica (como o VESYS). Isto abriu caminho para o progressivo avanço dos métodos mecanísticos.

1.2 O TEMA DE PESQUISA E OS OBJETIVOS PROPOSTOS

No Brasil, um passo fundamental rumo ao dimensionamento racional de pavimentos foi dado em 1991, com a publicação da tese de Doutorado da Professora Laura Motta.

Mais recentemente, sob orientação da Professora Laura Motta, Franco (2007) desenvolveu o software SISPAV, que se destina ao dimensionamento empírico-mecanístico de pavimentos.

O SISPAV incorpora os resultados de décadas de pesquisas realizadas na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seu emprego, ora restrito ao meio acadêmico, pressupõe a determinação experimental de fatores que transformem resultados de ensaios de laboratório em solos, agregados e misturas, seguidos de análises computacionais, em previsão de desempenho real dos pavimentos. Esses fatores são conhecidos como “fatores laboratório-campo”.

Dada a extensão continental do Brasil, os “fatores laboratório-campo” devem contemplar a grande diversidade de materiais e condições climáticas, ou seja, pavimentos experimentais devem ser construídos e monitorados de Sul a Norte e de Leste a Oeste do País.

Tal desafio somente se torna possível com o aporte significativo de recursos por parte da PETROBRÁS, empresa símbolo desse novo Brasil que está encontrando finalmente seu lugar no concerto das nações. Pressupõe também a parceria com empresas construtoras de rodovias, fabricantes de insumos, órgãos públicos e concessionárias de rodovias, como a CONCEPA, parceira do Laboratório de Pavimentação (LAPAV) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) há mais de uma década.

Nesse contexto, a pesquisa em questão visou monitorar o desempenho de pavimentos experimentais na BR-290/RS, trecho Osório-Porto Alegre, concedido à CONCEPA, e contribuir para o desenvolvimento de um método racional de dimensionamento de pavimentos flexíveis.

Assim sendo, os principais objetivos foram:

- Após acompanhar a execução de um pavimento flexível, analisar a evolução da capacidade estrutural do pavimento, por meio de medições periódicas de deflexões e de levantamentos de bacias deflectométricas, que permitiram estimar módulos de resiliência *in situ*.
- Analisar a evolução da serventia do pavimento, por meio de medições periódicas de Irregularidade Longitudinal e de levantamentos de Valor de Serventia Atual e de defeitos superficiais (remendos, panelas, etc.).
- Analisar a evolução da segurança do pavimento quanto ao risco de derrapagem e hidroplanagem, através de medições periódicas de macro e microtextura.
- Analisar o envelhecimento de ligante asfáltico e da mistura asfáltica utilizada nos segmentos experimentais, através de ensaios laboratoriais acurados e específicos realizados em amostras extraídas/coletadas.
- Realizar estudos de tráfego (contagem, classificação e pesagem de veículos comerciais), que possibilitem avaliar de forma acurada as solicitações às quais o pavimento estará submetido.
- Avaliar as condições de funcionamento das estruturas de drenagem próximas.
- Gerar publicações para divulgação interna (relatórios de pesquisa para a ANTT) e junto ao meio profissional (artigos para apresentação em eventos técnico-científicos ou publicação em revistas especializadas).
- Utilizar este projeto para fortalecer a parceria entre ANTT, CONCEPA e o Laboratório de Pavimentação (LAPAV/UFRGS), utilizando verbas de RDT (Recursos de Desenvolvimento Tecnológico).
- Dar continuidade a um projeto em desenvolvimento em larga escala em nosso país o qual visa consolidar um novo sistema de projeto de pavimentos, o qual está sendo coordenado pela Universidade Federal

do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ – em parceria com outras Universidades, inclusive com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), outrossim, salienta-se que esta pesquisa visa dar continuidade tanto para o estudo em desenvolvimento a nível nacional com o objetivo de obtenção/validação de um método nacional de dimensionamento de pavimentos quanto a pesquisa desenvolvida nos anos de 2010/2011 entre ANTT/CONCEPA/UFRGS, intitulada “Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com objetivo de validar método racional de dimensionamento de Pavimentos Flexíveis”.

- Fortalecer em nível nacional o grande projeto de pesquisa em andamento para obtenção de modelos de calibração - por meio da obtenção do fator campo-laboratório - para várias pistas experimentais em construção e em avaliação nas diversas Universidades citadas acima. Enfatiza-se a realização de encontros e discussões entre as Universidades participantes e corpo técnico para desenvolvimento e prosseguimento das análises tanto de campo quanto de laboratório além das mecânicas, onde será necessário o acompanhamento de campo e visitas técnicas em algumas das pistas experimentais.

1.3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Muitos anos atrás, na década de 60 do século passado, foi lançado o Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do antigo DNER, que buscava proporcionar ao engenheiro rodoviário ferramentas básicas para dimensionar pavimentos flexíveis, à luz da experiência desenvolvida nos Estados Unidos, especialmente pelo US Army Corps of Engineers.

Sem desmerecer o avanço representado à época pelo surgimento do método, é consenso no meio profissional nacional que, em virtude do significativo crescimento

do tráfego comercial rodoviário e da disponibilidade nos dias atuais de ferramentas mais avançadas (ensaios laboratoriais relevantes e softwares para dimensionamento mecânico), é imperioso o desenvolvimento de um método racional que contemple as especificidades dos materiais de pavimentação empregados no país, do seu clima e do tráfego passante.

Dispõe-se, já faz várias décadas, de softwares para análise mecânica de pavimentos; alguns, inclusive, desenvolvidos no Brasil. Contudo, os modelos de degradação (trincamento por fadiga, afundamentos nas trilhas de roda, etc.) precisam ser calibrados, contemplando as especificidades já mencionadas. Ou seja, é preciso determinar fatores laboratório-campo, que permitam empregar com confiabilidade os resultados de ensaios laboratoriais e de análises mecânicas na previsão de vida de fadiga de camadas asfálticas, de evolução de deformações permanentes (ATR e irregularidade); contemplando ao mesmo tempo aspectos funcionais como a serventia e a segurança.

Tal determinação implica a monitoração sistemática da evolução das condições estruturais e funcionais de pavimentos com materiais, espessuras de camadas e características mecânicas perfeitamente conhecidas, solicitados por tráfego medido com a maior acurácia possível, considerando ainda as condições ambientais circundantes (parâmetros do clima e condições de drenagem). Isso é o que se propõe neste trabalho.

Destaca-se, ainda, em atenção ao desenvolvimento deste trabalho proposto, que o mesmo dará continuidade a pesquisa realizada nos anos de 2010/2011 intitulada "Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com objetivo de validar método racional de dimensionamento de Pavimentos Flexíveis", a qual faz parte de um grande e relevante projeto/estudo em desenvolvimento a nível nacional coordenado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ.

Frisa-se a grande relevância no prosseguimento das avaliações propostas nesta pesquisa, pois as mesmas têm a intenção de obter dados para análise e calibração de

modelos por meio do fator laboratório-campo, os quais serão futuramente confrontados com outros pavimentos experimentais em construção e em avaliação ao longo do nosso país, os quais estão sendo desenvolvidos pelas seguintes Universidades: COPPE/UFRJ, UFRGS, USP e UFCE.

1.4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

1.4.1 Métodos e técnicas utilizadas: O acompanhamento do desempenho dos pavimentos pós-execução compreenderá:

I. Avaliação de evolução das condições funcionais e estruturais dos pavimentos experimentais, através do acompanhamento e da análise de degradações relacionadas.

Objetivou-se acompanhar a evolução das condições funcionais e estruturais dos pavimentos submetidos ao tráfego, identificando quanto tempo após a abertura ao tráfego (ou após que volume de tráfego, representado por um número equivalente de eixos padrão) surgem degradações (como, por exemplo, os trincamentos) e qual a taxa de evolução das mesmas com o tráfego atuante. Portanto, o monitoramento dos pavimentos experimentais é uma etapa fundamental na definição do fator laboratório-campo e na calibração de Modelos de Previsão de Desempenho.

II. Avaliação dos efeitos climáticos no comportamento mecânico dos materiais constituintes das camadas dos pavimentos, muito especialmente nas camadas asfálticas, bem como no envelhecimento das misturas e dos ligantes asfálticos.

III. Avaliação e acompanhamento da construção das pistas experimentais com elaboração de laudos técnicos e visitas técnicas a outras pistas experimentais em construção junto as outras Universidades participantes do projeto em nível nacional com o objetivo de discutir tecnicamente as diversas soluções que estão sendo desenvolvidas e avaliação da evolução das condições estruturais e funcionais das mesmas.

1.4.2 Etapas: A pesquisa compreendeu as seguintes etapas:

- I. Ensaios laboratoriais dos materiais que constituirão o 2º pavimento a ser construído;
- II. Reavaliação do tráfego atual;
- III. Avaliação das condições de funcionamento das estruturas de drenagem adjacentes;
- IV. Avaliação de dados climáticos;
- V. Dimensionamento racional do pavimento;
- VI. Monitoramento das condições estrutural e funcional do pavimento, considerando as solicitações do tráfego;
- VII. Avaliação dos efeitos climáticos no comportamento mecânico dos materiais constituintes das camadas do pavimento;
- VIII. Análises de resultados;
- IX. Discussões entre técnicos da CONCEPA e pesquisadores do LAPAV;
- X. Elaboração de Relatórios e artigos técnico-científicos.

1.5 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

Nesta seção, após ter-se apresentado o tema de pesquisa, discutido sua relevância e explicitado os objetivos, se antecipam os demais capítulos que compõem este Relatório.

No capítulo 2 é apresentada a Metodologia seguida para o desenvolvimento da pesquisa. Destaca-se a importância do monitoramento das condições funcional e estrutural do pavimento experimental e da avaliação dos efeitos climáticos no comportamento dos materiais que o constituem. Complementarmente, são apresentadas as etapas da pesquisa.

Os resultados da pesquisa nos trechos experimentais são apresentados e discutidos no capítulo 3. Apresenta-se a estrutura do pavimento experimental e descrevem-se as condições de drenagem no entorno do trecho estudado, ao qual se buscou o

detalhamento mais amplo possível de todos os seus elementos. As características dos materiais empregados (revestimento asfáltico, brita graduada, macadame seco e areia) são descritas. Também se apresentam as características de tráfego da rodovia e do clima.

Finalmente, apresentam-se as principais características do software SISPAV, empregado para dimensionamento ou para verificação de vida útil¹ de pavimentos.

No capítulo 4 são feitas as análises dos dados apresentados no capítulo anterior, ou seja, referentes aos trechos experimentais I e II, dando ênfase para a avaliação estrutural e funcional do pavimento e, complementarmente, utilizando-se de modelos de previsão de desempenho para estimar o comportamento esperado para o trecho monitorado.

Já no capítulo 5 apresentam-se os resultados obtidos da monitoração nos trechos experimentais estudados. E as linhas de tendências do desempenho dos trechos, especialmente, do trecho I que é o mais antigo e, portanto, submetido a maior volume de tráfego.

Por fim, no último capítulo apresentam-se as considerações finais, explicitando os objetivos atingidos desta pesquisa.

¹ Considerando que os Fatores Laboratório-Campo serão definidos nacionalmente após os períodos de monitoração de diversos pavimentos experimentais, é compreensível que as espessuras de camadas asfálticas resultantes atualmente do emprego do SISPAV sejam bastante elevadas. Desta maneira, em muitos trechos, inclusive no construído na BR-290/RS, serão adotadas estruturas determinadas através de outras metodologias, indicadas em projetos previamente elaborados por técnicos que não estão participando desta Pesquisa. No caso, a estrutura a ser monitorada é aquela que a CONCEPA tem implantado na ampliação da Rodovia.

2. MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa consistiu em acompanhar a execução e o desempenho de dois trechos experimentais da Pista Sul (sentido Porto Alegre - Osório) da Rodovia BR-290/RS. Na Figura 1, apresenta-se o mapa de situação, enquanto que na Figura 2 visualiza-se o mapa de localização do trecho monitorado.



Figura 1. Mapa de situação do Estado do Rio Grande do Sul

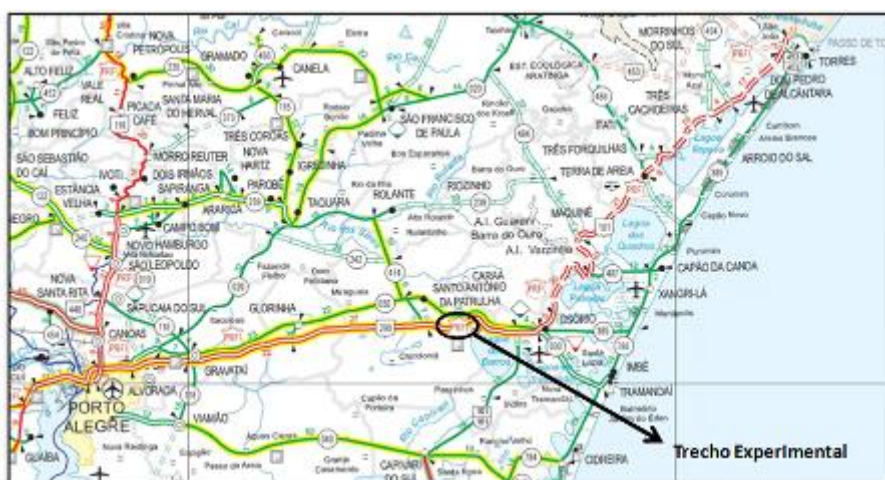


Figura 2. Mapa de localização do trecho experimental

A definição de onde ficaria o trecho experimental levou em conta alguns aspectos, tais como:

- I) Evitar que o trecho ficasse em uma seção de terraplenagem de corte para evitar problemas de drenagem;
- II) Preferir que o trecho fosse próximo às Praças de Pedágio para garantir um maior controle do tráfego;
- III) Conciliar com as obras de ampliação da Rodovia BR-290/RS;

Sendo assim os segmentos experimentais foram definidos como locados entre o km 14+700 a km 14+400 (trecho I) e entre o km 5+500 a km 5+000 (trecho II). Ainda para fins de entender melhor o efeito climático nos pavimentos do sul do Brasil, escolheu-se um segmento em acostamento, eliminando-se, assim, os efeitos do tráfego, para monitorar junto com os outros dois trechos. Esse acostamento apresenta a mesma estrutura dos outros pavimentos experimentais e situa-se entre o km 4+960 a km 4+860 (trecho III).

Uma vez definida a localização dos trechos de monitoração, na etapa de pré-execução do trecho buscou-se caracterizar os materiais que seriam utilizados no pavimento estudado. Essa etapa visa coletar amostras e materiais para realização dos ensaios laboratoriais de asfalto, agregados e solos.

2.1 PLANO DE MONITORAÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL E SEU ENTORNO

O monitoramento de trechos experimentais pós-execução compreende:

- I. Monitoramento das condições funcionais e estruturais dos pavimentos experimentais, através do acompanhamento e da análise de degradações relacionadas com o tráfego e
- II. Avaliação dos efeitos climáticos no comportamento mecânico dos materiais constituintes das camadas do pavimento, muito especialmente nas camadas asfálticas; bem como no envelhecimento das misturas e dos ligantes asfálticos.

2.1.1 Monitoramento do Pavimento Experimental

Este monitoramento destina-se a acompanhar a evolução das condições funcionais e estruturais dos pavimentos submetidos ao tráfego; identificando quanto tempo após a abertura ao tráfego (ou após que volume de tráfego, representado por um número equivalente de eixos padrão) surgem algumas degradações (como, por exemplo, os trincamentos) e qual a taxa de evolução das mesmas com o tráfego. Portanto, o monitoramento dos pavimentos experimentais é uma etapa fundamental na definição do fator laboratório-campo e na calibração de modelos de previsão de desempenho.

1) Avaliação da Condição Estrutural do Pavimento Experimental

Levantamentos de deflexões pontuais com Viga Benkelman:

Para avaliar a condição estrutural dos pavimentos experimentais são realizados levantamentos deflectométricos com Viga Benkelman antes da abertura do pavimento ao tráfego e, posteriormente, a cada 3 meses.

Os levantamentos de deflexões pontuais seguem o prescrito pela norma DNER-ME 024/94 (Pavimento – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman). Antes de cada levantamento, o equipamento deve ser aferido, seguindo o disposto no DNER-PRO 175/94 (Pavimento – Aferição de Viga Benkelman).

Durante os levantamentos de deflexões são medidas as temperaturas do ar e da superfície do pavimento, preferencialmente com termômetro digital, em intervalos de tempo não superiores a 15 minutos; cuidando-se para que as leituras sejam feitas próximo do meio das rodas.

Levantamentos de bacias deflectométricas com Viga Benkelman:

Complementarmente, antes da abertura do pavimento ao tráfego e, posteriormente, a cada 6 meses serão levantadas as linhas de influência das bacias de deformação com equipamento FWD, com Deflectômetro Digital (viga eletrônica) ou com Viga Benkelman Analógica.

As bacias deverão ser levantadas a cada 20 m, alternando-se medidas nos bordos externo e interno. Durante os levantamentos de cada bacia deverá medir-se a temperatura do ar e da superfície do pavimento. Tanto o deflectômetro digital, quanto o FWD, dispõe de termômetros para medir a temperatura próxima à superfície.

Os levantamentos com FWD serão realizados observando o prescrito pelo Procedimento DNER-PRO 273/96.

O deflectógrafo digital tem princípio de funcionamento semelhante à viga Benkelman e, para realização das medidas, posiciona-se a ponta de prova do equipamento, onde está o medidor LVDT responsável pela medição dos deslocamentos, entre os pneus do rodado do caminhão.

O caminhão entra em movimento e as leituras das deflexões ao longo de até 3,20 m são realizadas automaticamente pelo equipamento, com espaçamento de 5 cm.

Avaliação da Condição Funcional do Pavimento Experimental:

Para avaliar a condição funcional dos pavimentos experimentais, serão feitos os seguintes levantamentos:

Levantamentos de Irregularidade e de Afundamentos nas Trilhas de Roda:

Estes levantamentos serão realizados antes da abertura do pavimento ao tráfego e, posteriormente, a cada 6 meses, preferencialmente com barra laser; ou alternativamente com equipamento tipo resposta. A escala para medida da Irregularidade será o International Roughness Index (IRI), em m/m; ou, na hipótese de empregarem-se equipamentos tipo resposta (integrador USP ou Maysmeter, por exemplo), o Quarter-Index Car (QI) em contagens/km. Os resultados médios serão apresentados por segmentos de 40 m.

A Irregularidade de um pavimento é conceituada como o desvio da superfície da rodovia com relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via.

A Irregularidade é considerada como o melhor indicador de serventia de pavimentos, parâmetro que expressa o nível de conforto, segurança e economia que o pavimento proporciona ao usuário da rodovia.

Atualmente, são utilizados diversos equipamentos para avaliar a irregularidade do pavimento, como os equipamentos tipo-resposta e os perfilômetros a laser.

Os equipamentos tipo-resposta (sensor de deslocamentos verticais e um quantificador de irregularidade com um odômetro e um totalizador) começaram a serem utilizados na década de 1920. Esse tipo de equipamento funciona acoplado a um veículo de passeio e o procedimento de ensaio está descrito na norma DNER-PRO 182/94.

Os medidores tipo-resposta medem a resposta do veículo às imperfeições do pavimento, através do somatório da variação da distância entre o eixo e a carroceria do veículo. Este somatório é correlacionado com um índice de irregularidade por modelos próprios para cada veículo, levando-se em consideração a velocidade de operação da rodovia.

Estes equipamentos apresentam as limitações de precisarem de trechos de calibração, e os resultados dependerem da velocidade do veículo, e de características de manutenção do veículo como o peso, suspensão e pneus.

Os perfilômetros a laser são equipamentos de uso mais recente, que aliam alta tecnologia com a maior precisão nos levantamentos de dados. Este tipo de equipamento é composto por uma unidade de transdutores (em uma barra), equipada com sensores a laser (com pelo menos dois, sendo um em cada trilha de roda), dois acelerômetros e um sensor de movimento inercial, e um computador PC com “slots” para expansão de capacidade. Todos os equipamentos são instalados em um veículo.

O funcionamento do perfilômetro consiste na leitura simultânea do deslocamento longitudinal, da altura do veículo até o pavimento e da aceleração vertical do veículo (Figura abaixo). Os dados são processados para que a aceleração vertical registrada seja transformada em deslocamento vertical do veículo. Com esta última medida, corrigem-se todos os valores de altura para obter-se o perfil longitudinal.

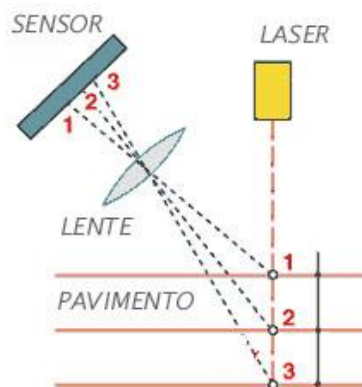


Figura 3. Esquema do funcionamento dos sensores nos perfilômetros a laser.

As leituras dos perfis do pavimento são realizadas com o veículo em movimento, na velocidade da via, para posterior determinação dos índices de irregularidade.

Os Afundamentos nas Trilhas de Roda são deformações permanentes ocorridas no pavimento deixando como consequência um sulco onde passam os pneus dos veículos. São causadas pela consolidação inicial relativo ao grau de compactação das camadas granulares, por deformações estruturais e deformações plásticas das camadas asfálticas. Os afundamentos serão medidos antes da abertura do pavimento ao tráfego e, posteriormente, a cada 6 meses.

Os afundamentos de trilha de roda podem ser levantados por dois procedimentos diferentes. O primeiro é o referente à norma DNIT 006/2003-PRO, que determina a utilização de uma treliça de alumínio, padronizada, 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 de trilha de roda.

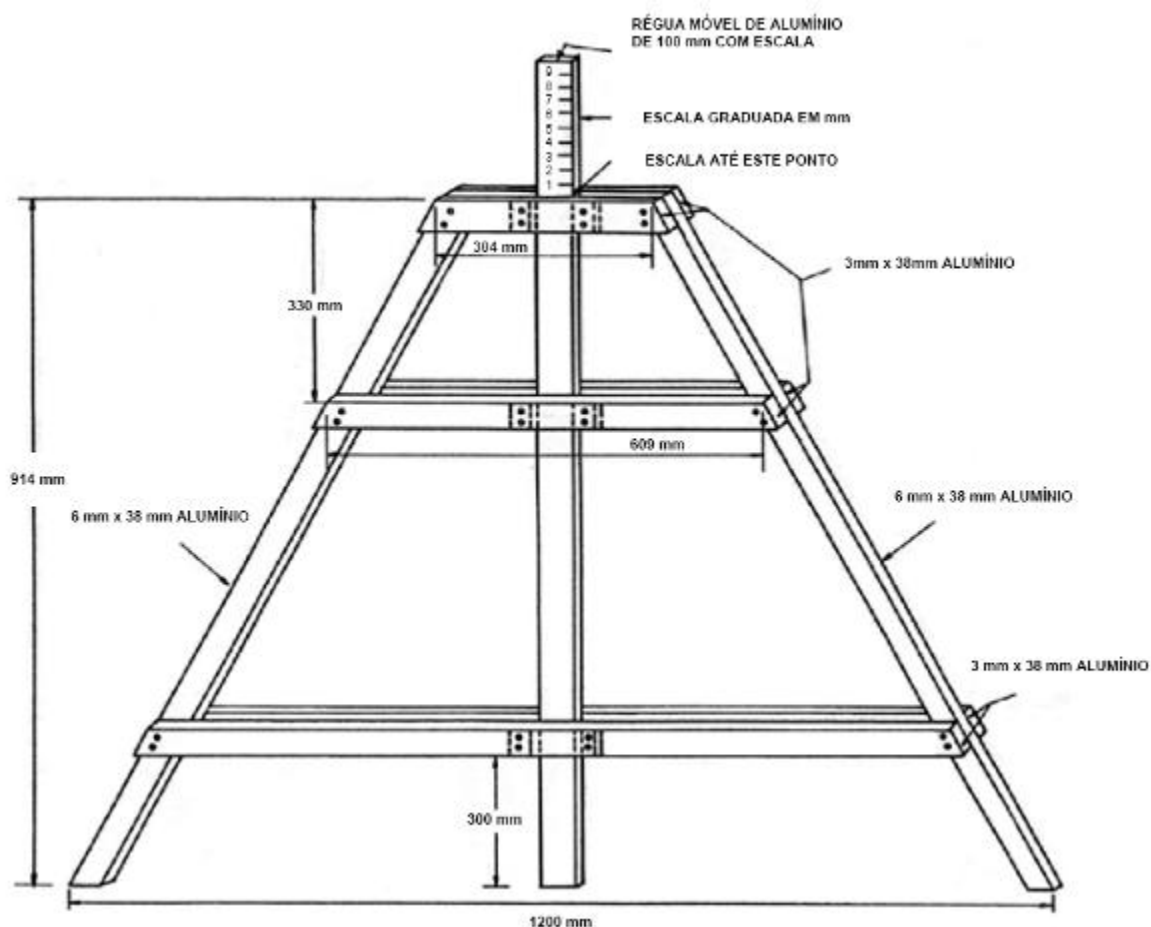


Figura 4. Treliça de alumínio usada para medir afundamentos nas trilhas de roda

O segundo procedimento, igualmente ao levantamento de irregularidade, também utiliza o perfilômetro a laser. Neste procedimento os sensores devem ter o posicionamento na barra de forma que simule uma treliça (conforme o que se faz na norma DNIT 006/2003-PRO quando se utiliza a treliça de alumínio). Portanto utilizam-se 5 módulos laser, os quais são posicionados ao longo de uma barra rígida de 3 metros de comprimento, sendo que os módulos 1 e 5 ficam nas extremidades da barra, os módulos 2 e 4 ficam posicionados sobre as trilhas de roda e por fim, o módulo 3 fica no meio da barra (Figura 5, a seguir).

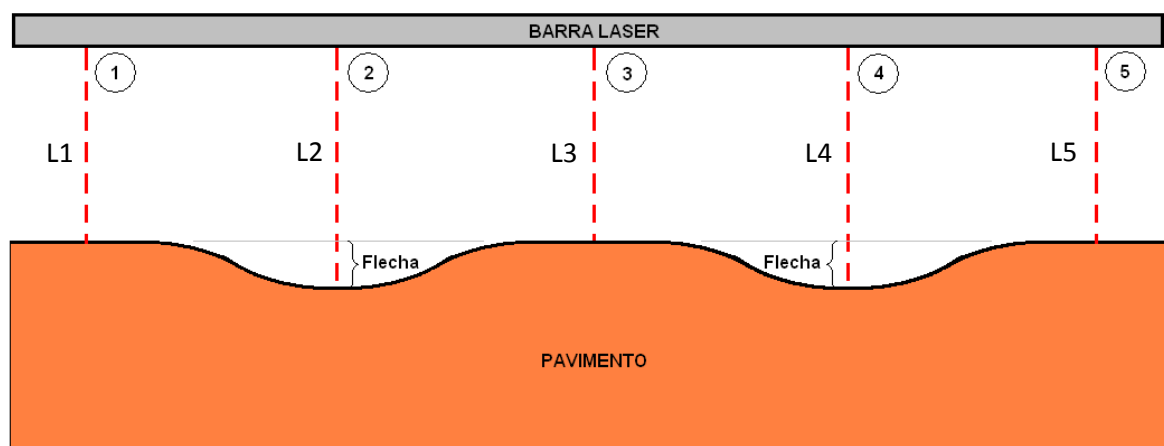


Figura 5. Posicionamento de sensores no levantamento de ATR.

O cálculo feito pelo equipamento para a determinação dos ATR é:

$$\text{Flecha}_{\text{esquerda}} = L2 - (L1+L3)/2$$

e

$$\text{Flecha}_{\text{direita}} = L4 - (L3+L5)/2$$

Também se pode determinar o afundamento utilizando-se apenas os módulos 2, 3 e 4, obtendo-se as diferenças.

Portanto, os perfilômetros a laser são equipamentos que substituem de forma vantajosa os tradicionais medidores do tipo-resposta nas avaliações de irregularidade e também os métodos manuais usados na medição de ATR, tais como a treliça.

Avaliação Subjetiva das Superfícies dos Pavimentos Experimentais:

Mensalmente será realizada a avaliação subjetiva da serventia dos pavimentos experimentais, seguindo o disposto na Norma DNIT 009/2003 – PRO.

A Serventia Atual de um pavimento consiste na capacidade de um trecho específico da rodovia de proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego.

Ao empregar-se a norma DNIT, a serventia atual é interpretada em termos de Valor de Serventia Atual (VSA), que é uma medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento asfáltico, feita por um grupo de avaliadores que percorrem o trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto à suavidade e ao conforto.

O grupo responsável pela determinação do Valor de Serventia Atual (VSA) deve ser constituído de cinco membros perfeitamente conhecedores dos propósitos da avaliação.

A grande vantagem deste tipo de avaliação é que ela retrata uma opinião direta de usuários da rodovia quanto ao conforto de rolamento. Portanto, retiram-se aqui questões de cunho técnico, que só são percebidas por especialistas.

Cada avaliação individual deve retratar o Valor de Serventia Atual do pavimento asfáltico, baseada na experiência do membro do grupo que, durante sua atividade profissional, tenha dirigido veículos e examinado extensões razoáveis de rodovias.

As condições impostas para a avaliação do pavimento são as seguintes:

- O trecho de pavimento deve ser avaliado determinando o Valor de Serventia Atual como se fosse para uma rodovia de tráfego intenso e constituído de veículos comerciais e de passageiros.
- O avaliador deve considerar somente o estado atual da superfície e, conseqüentemente, pode classificar um pavimento como “bom”, embora suspeite que o mesmo possa romper-se em futuro próximo.
- A avaliação não deve ser feita sob condições climáticas desfavoráveis, como chuva, neblina, nevoeiro, etc.
- O avaliador deve ignorar os aspectos do projeto geométrico do trecho da rodovia que está sendo avaliada (alinhamento, largura do acostamento, largura do revestimento etc.). Os trechos devem ser avaliados como se o projeto geométrico fosse adequado para qualquer tipo de tráfego.

- O avaliador não deve considerar, na avaliação, a resistência à derrapagem do revestimento.
- Os avaliadores devem considerar principalmente os “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície. Grandes depressões resultantes do recalque de aterros devem ser ignoradas.
- Os avaliadores devem desprezar os cruzamentos ferroviários, irregularidades nos acessos das pontes e irregularidades ocasionais devidas a recalques de bueiros.

Na avaliação de uma série de trechos pavimentados, o avaliador não deve levar em conta os valores assinalados para os trechos anteriormente avaliados, devendo cada trecho ser avaliado independentemente.

O avaliador não deve comentar nada de sua avaliação com outro avaliador, nem procurar o auxílio de ninguém sobre as condições de projeto de qualquer trecho.

As avaliações, em sua maior parte, são afetadas pelas condições de rolamento da superfície do pavimento. Provavelmente, são também consideravelmente influenciadas por sulcos profundos e, até certo ponto, pela quantidade e condições de trincas ou remendos. Estas condições não devem ser mentalmente balanceadas na determinação do Valor de Serventia Atual. O avaliador deve somente expressar uma opinião global ou parecer de como o pavimento está se comportando no momento da avaliação.

O parecer dos componentes do grupo deve ser registrado em escala de 0,0 a 5,0, indicando, respectivamente, pavimentos de “péssimo” a “ótimo”.

No preenchimento da ficha de campo, o avaliador deve ter em mente os seguintes aspectos:

- “Como se portaria este trecho de pavimento, atendendo à finalidade para a qual foi construído, durante um período de 24 horas por dia, se ele estivesse localizado em uma rodovia principal?”; “Qual o conforto que este pavimento me proporcionaria se tivesse que utilizá-lo dirigindo um veículo durante 8

horas?"; "Como me sentiria dirigindo ao longo de 800 quilômetros sobre este pavimento?".

- Imediatamente após ter percorrido o trecho, o avaliador deve assinalar a nota dada ao pavimento, marcando-a na escala vertical em números decimais.
- A nota deve ser marcada sem uma preocupação maior do número exato a ser assinalado, levando-se em consideração os conceitos descritivos ou os principais números divisórios.
- Na avaliação de um grande número de trechos contíguos de rodovias de duas faixas de tráfego, todas as avaliações devem ser feitas, sempre que possível, sem retornar sobre um trecho já avaliado.
- Cada trecho deve ser percorrido, sempre que possível, em uma direção, com a velocidade próxima do seu limite permitido.
- Os veículos utilizados na avaliação devem ser de passeio, do tipo médio-padrão dentre os fabricados no País.
- Na avaliação devem ser usados, no mínimo, dois veículos para que os avaliadores possam ser distribuídos de dois a três em cada veículo.

O VSA é calculado pela média das notas dadas por cada avaliador participante:

$$VSA = \frac{\sum x_i}{n}$$

onde :

$x_i \rightarrow$ nota de cada avaliador;

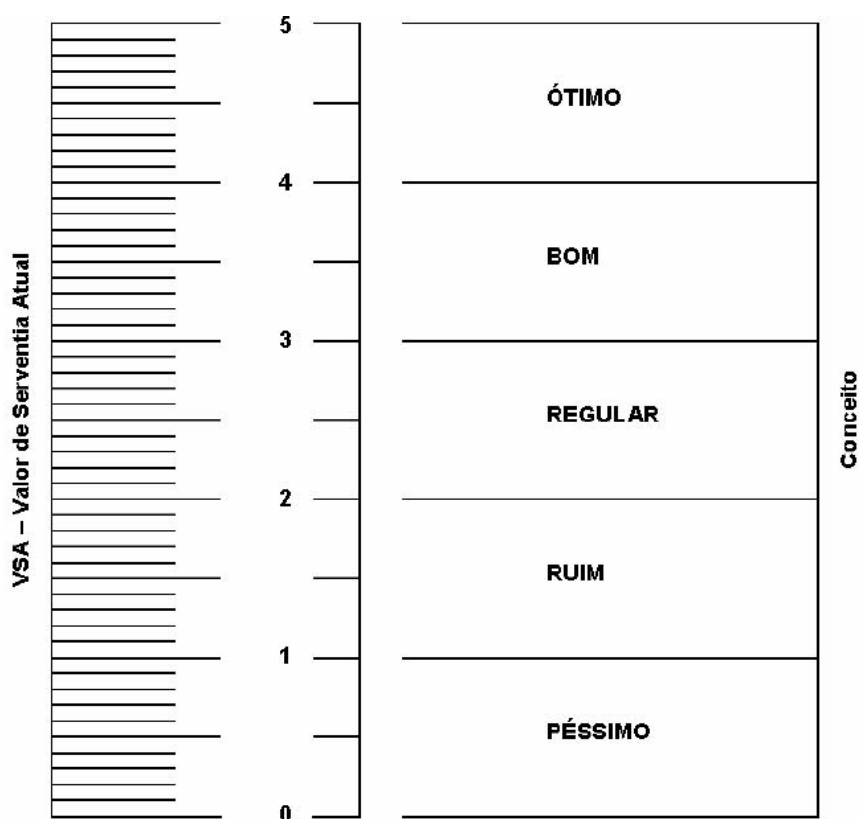
$n \rightarrow$ número de avaliadores.

A interpretação de cada conceito pode ser mais bem entendida conforme a Tabela 1, a seguir.

Tabela 1. Interpretação do conceito do VSA

CONCEITO	DESCRIÇÃO	VSA
Ótimo	Necessita apenas de manutenção rotineira	$VSA > 4,0$
Bom	Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas (lama asfáltica)	$3,0 < VSA \leq 4,0$
Regular	Pavimento trincado, com painelas pouco freqüentes e com irregularidade longitudinal e/ou transversal (correção de pontos localizados ou recapeamento)	$2,0 < VSA \leq 3,0$
Ruim	Defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas – remendos superficiais ou profundos (recapeamento com correções prévias)	$1,0 < VSA \leq 2,0$
Péssimo	Defeitos localizados com correções prévias em toda a extensão. Deterioração do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base (Reconstrução)	$VSA \leq 1,0$

A escala de notas e conceitos pode ser observada como segue:



Avaliação da condição de superfície do Pavimento Experimental:

A condição de superfície do pavimento experimental foi avaliada a cada 3 meses, empregando-se um procedimento semelhante àquele preconizado na Norma DNIT 007/2003, fazendo-se, contudo, o levantamento em toda a extensão do pavimento experimental. Isto é, todo o trecho experimental foi avaliado, sem aplicarem-se os conceitos de sub-trechos homogêneos nem de superfícies de avaliação, definidos nos itens 3.4 e 3.5 da referida norma.

Complementarmente, a severidade do trincamento é avaliada através de um critério denominado de “Densidade de Trincamento”, desenvolvido na França. Em cada levantamento todas as trincas são medidas (em cm) e o somatório dos comprimentos das mesmas deve ser dividido pela área da superfície trafegada (m^2). A Figura 6, a seguir, exemplifica a evolução da densidade de trincamento em pavimentos experimentais.



Figura 6. Exemplo de evolução do trincamento em pavimento experimental, adotando-se o critério de Densidade de Trincamento

Este critério apresenta a vantagem de explicitar a severidade do trincamento, permitindo diferenciar uma condição de trincamento incipiente de outra de trincamento avançado.

Ainda, procurou-se realizar o mapeamento das trincas, com emprego de uma grade metálica, de dimensões 1,0 m x 1,0 m, com quadrados internos de 10 cm de lado, como mostra a Figura 7, a seguir.



Figura 7. Mapeamento das trincas com auxílio de grade metálica. As cores indicam a ordem de surgimento das trincas.

À medida que surgirem, as trincas devem ser registradas em papel milimetrado e posteriormente em forma digital, permitindo analisar sua evolução, como mostra a Figura 8 abaixo.

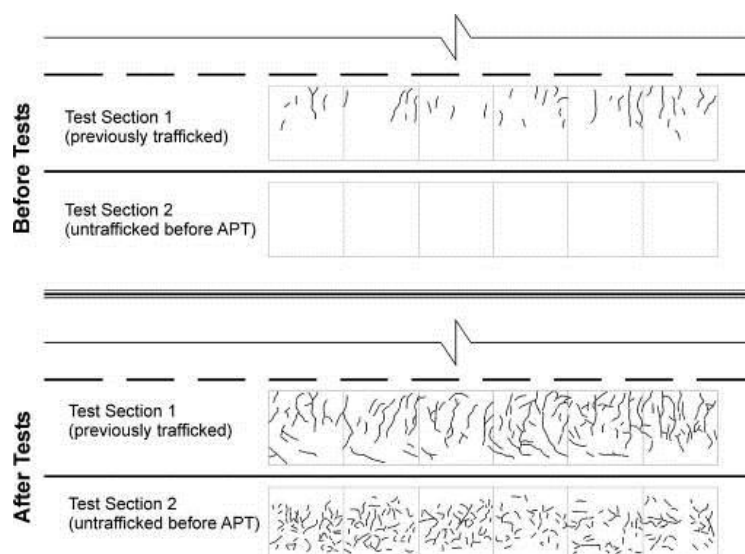


Figura 8. Evolução do trincamento em dois pavimentos experimentais

Avaliação da resistência à derrapagem dos Pavimentos Experimentais:

A resistência à derrapagem dos pavimentos experimentais foi avaliada antes da abertura do pavimento ao tráfego e, posteriormente, a cada 6 meses. Serão realizadas medições a cada 20 m alternando-se as trilhas de roda externa e interna.

Avaliação da Microtextura com o Pêndulo Britânico:

O Pêndulo Britânico é o equipamento mais difundido para determinação da microtextura. As suas vantagens são a rapidez e a facilidade de realizar o ensaio, a sua desvantagem é o baixo rendimento em nível de rede.

O princípio de funcionamento do Pêndulo Britânico é a perda de energia de um pêndulo com base emborrachada ao deslizar sobre o pavimento. O ensaio determina a resistência à derrapagem na superfície e o valor de atrito medido por este equipamento é expresso em BPN (*British Pendulum Number*) ou, em português, VRD (Valor de Resistência à Derrapagem).

A medição do valor de atrito representativo do local ensaiado é obtido realizando-se cinco lançamentos da sapata contra o pavimento, sendo a primeira medição descartada e com as demais se calcula o valor médio do VRD. A Figura 9 mostra o Pêndulo Britânico após o lançamento da sapata contra a superfície do pavimento.



Figura 9. Execução do ensaio com o Pêndulo Britânico

Conforme especificado no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), a microtextura de uma superfície pode ser classificada em função do VRD obtido no ensaio com Pêndulo Britânico. As classes de microtextura podem ser verificadas na Tabela 2, abaixo.

Tabela 2. Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico (DNIT, 2006)

Classificação	Limites de VRD
Perigosa	< 25
Muito Lisa	25 – 31
Lisa	32 – 39
Insuficientemente Rugosa	40 – 46
Medianamente Rugosa	47 – 54
Rugosa	55 – 75
Muito Rugosa	> 75

O Manual do DNIT (2006) recomenda valores de VRD ≥ 55 , ou seja, as superfícies devem apresentar características medianamente rugosa a rugosa.

Avaliação da Macrotextura pela Mancha de Areia:

O método de ensaio da Mancha de Areia consiste em espalhar um volume conhecido de material (areia limpa e seca ou microesferas de vidro) sobre a superfície do pavimento de modo a preencher os vazios da superfície. Salienta-se que os movimentos para espalhar a areia são circulares e contam com o auxílio de um disco.

Quando os movimentos não espalham mais o material, mede-se então o diâmetro do círculo formado no pavimento em 4 direções e calcula-se o diâmetro médio da mancha. Dessa forma, é possível obter a altura média da mancha de areia, que representa a medida de macrotextura do pavimento, pela seguinte Equação:

$$HS = \frac{V}{D_m^2} \frac{4}{\pi}$$

Onde: HS = altura média da mancha (mm);

V = volume de areia (25.000 mm^3);

D_m = diâmetro médio da mancha (mm).

Na Figura 10, pode-se observar a técnica de execução do ensaio de Mancha de Areia.



Figura 10. Ensaio de Mancha de Areia

A classificação da macrotextura de uma superfície também está especificada no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), sendo que os limites são definidos em função do HS. As classes de macrotextura podem ser verificadas na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3. Classes de macrotextura pelo método da Mancha de Areia (DNIT, 2006)

Classificação	Limites de HS
Muito Fina	< 0,20
Fina	0,21 – 0,40
Média	0,41 – 0,80
Grossa	0,81 – 1,20
Muito Grossa	> 1,20

A faixa recomendada pelo Manual do DNIT (2006) para os valores da altura média da mancha de areia é $0,6 \text{ mm} < HS < 1,2 \text{ mm}$, ou seja, as superfícies devem apresentar textura média a grossa.

2.1.2 Monitoramento dos Efeitos Climáticos no Comportamento Mecânico dos Materiais Empregados no Pavimento Experimental

Com a finalidade de avaliar-se de forma separada os efeitos climáticos (temperatura, irradiação solar, teor de umidade, etc.) no comportamento mecânico dos materiais empregados nos pavimentos experimentais, propôs-se a execução de acostamento adjacente ao trecho experimental, com a mesma estrutura do pavimento deste. Trata-se de um curto segmento (aproximadamente 100 m de extensão), que não foi exposto ao tráfego, que permitiu:

- I) A extração de corpos-de-prova de camadas asfálticas a cada 6 meses, para avaliar o envelhecimento de ligantes e misturas asfálticas;
- II) Medir deflexões em diferentes épocas do ano (consequentemente, com diferentes temperaturas de pavimentos), de forma a avaliar os efeitos do clima (temperatura das camadas asfálticas e teor de umidade de camadas granulares e de solos) nas deflexões, sem interferência do fator tráfego;
- III) Realização de estudos complementares, como a pavimentos; avaliação da carga de eixo nas deflexões, etc.

Avaliação do Envelhecimento do Ligante Asfáltico e Efeitos no Comportamento Mecânico das Camadas Asfálticas

Antes da abertura ao tráfego e, posteriormente, a cada 6 meses serão extraídos 12 corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro 10 cm, para a realização dos seguintes ensaios mecânicos:

- I) Ensaios de Resistência à Tração a 25 °C na condição seca, seguindo a Norma DNER-ME 138/94 (3 corpos-de-prova);
- II) Ensaios de Resistência à Tração a 25 °C após 72 horas de imersão (3 corpos-de-prova);
- III) Módulo de Resiliência na Compressão Diametral a 25 °C na condição seca, seguindo a Norma DNER-ME 133/94 (3 corpos-de-prova);

IV) Módulo de Resiliência na Compressão Diametral a 25 °C após 72 horas de imersão, seguindo a Norma DNER-ME 133/94 (3 corpos-de-prova).

Os ligantes constituintes dos corpos-de-prova previamente ensaiados serão recuperados através do método de ensaio ASTM D1856 para a realização de ensaios de:

- I) Viscosidade rotacional, de acordo com a norma ASTM D2872/04;
- II) Penetração a 25 °C, de acordo com a norma DNER-ME 003/99;
- III) Ponto de Amolecimento Anel e Bola, de acordo com a norma ASTM D36;
- IV) *Bending Beam Rheometer*, de acordo com a norma ASTM D66 48-08 e
- V) *Dynamic Shear Rheometer*, de acordo com a norma ASTM D7405-08

2.1.3 Avaliações Complementares

Antes da abertura ao tráfego e, posteriormente, a cada 6 meses realizou-se a contagem e classificação de veículos ao longo de pelo menos 12 horas, durante 7 dias corridos. Como o pavimento experimental foi construído em rodovia concedida, esses dados foram complementados através de informações colhidas junto a praças de pedágio.

Um aspecto crítico é a definição de um Fator de Veículo, uma vez que a pesagem de veículos é operação muito complicada e dificilmente seria exequível, ao menos que o órgão que tem jurisdição sobre a rodovia (DNIT, DER, concessionária) apoiasse a atividade. Novamente, já que o pavimento experimental foi construído em rodovia concedida, dados de pesagem poderão ser obtidos junto à operação de balanças.

Ainda, antes da abertura ao tráfego e, posteriormente, a cada 3 meses, se fez uma avaliação subjetiva do sistema de drenagem da região de influência junto ao pavimento experimental, observando se esse sistema está operando adequadamente (valetas íntegras, bueiros desobstruídos, etc.) e se há evidências de água presa no interior do pavimento.

Finalmente, registra-se, com o máximo detalhamento possível, toda intervenção realizada no pavimento experimental (por exemplo: execução de micro-revestimento asfáltico) ao longo do período de monitoramento.

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS INICIAIS DOS TRECHOS EXPERIMENTAIS

3.1. PROJETO BÁSICO UTILIZADO NA BR-290/RS

3.1.1. Estrutura do Pavimento

Devido à proximidade e ao bom relacionamento existente entre a CONCEPA e o LAPAV, existe um bom acervo técnico da caracterização dos materiais comumente empregados na BR-290/RS. Desta forma, buscou-se, inicialmente, coletar projetos e estudos antigos para formar um pré-conhecimento dos materiais que compõem o trecho que será monitorado. Para somente depois complementar a caracterização realizando ensaios de laboratório.

A BR-290/RS apresenta uma estrutura de ampliação típica, que consiste em 60 cm de espessura de areia usada como reforço do subleito, 30 cm de espessura de material originado do britador primário aplicado na sub-base, 15 cm de espessura de brita graduada empregada como base e 8 cm de espessura de revestimento com CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), conforme apresentado na Figura 11.



Figura 11. Estrutura do pavimento da BR 290/RS

A estrutura apresenta na Figura 11 caracteriza perfeitamente os Trechos Experimentais I e III, no entanto, o Trecho II difere na camada de reforço que ao invés de areia é composto por pedras devido à proximidade com a lagoa. Mas no restante das camadas os materiais são da mesma origem e composição. No quadro 1, mostra-se a locação dos trechos experimentais.

Quadro 1 – Locação dos trechos experimentais

Trecho	Pista / Faixa	Início	Fim
I	Sul / 3ª faixa	14+700	14+400
II	Sul / 3ª faixa	5+500	5+000
III	Sul / Acostametno	4+960	4+860

Os materiais pétreos empregados nas camadas de revestimento, base e sub-base, são rochas basálticas básicas, originárias da jazida próxima ao km 30+000 da rodovia, no município de Santo Antônio da Patrulha.

3.1.2. Condições de Drenagem

No trecho monitorado I, o sistema de drenagem consiste em Bueiros Transversais de Concreto para a passagem de água e drenos do tipo MacDrain da Maccaferri, além de vala lateral. Já no trecho monitorado II, o sistema de drenagem consiste em Bueiros Transversais de Concreto apenas. Enquanto que no trecho monitorado III não existem dispositivos de drenagem.

As Figuras 12 e 13 apresentam os dispositivos de drenagem existentes no local de estudo e na Tabela 4 pode-se verificar a localização dos mesmos.



Figura 12. Sistema de drenagem no trecho monitorado – bueiro transversal



Figura 13. Sistema de drenagem no trecho monitorado – dreno longitudinal

Tabela 4. Locação dos dispositivos de drenagem

ESTACA (KM)	DISPOSITIVO	DIÂMETRO (mm)
14+684	Dreno	-
14+662	Bueiro	1200
14+644	Dreno	-
14+627	Dreno	-
14+600	Dreno	-
14+584	Bueiro	600
14+581	Dreno	-
14+520	Dreno	-
14+444	Bueiro	1200
14+442	Dreno	-
5+470	Bueiro	1000
5+250	Bueiro	1200
5+110	Bueiro	1000

Até o momento, constata-se que os sistemas de drenagem estão cumprindo satisfatoriamente com suas atribuições. Complementarmente, para ajudar na avaliação da drenagem, pretende-se implantar um sistema de monitoração do nível do lençol freático no trecho estudado, inclusive verificando o efeito da sucção no pavimento.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EM LABORATÓRIO

A seguir apresenta-se a caracterização dos materiais, através de ensaios laboratoriais.

3.2.1. Revestimento Asfáltico

Conforme já foi mencionado, o revestimento asfáltico possui espessura de 8 cm, sendo que sua execução foi realizada em duas camadas de 4 cm. Ambas as camadas foram executadas com ligante modificado por polímero (FLEXPAVE 60/85). O projeto de mistura com o ligante que será utilizado apresentou as seguintes características:

Tabela 5. Caracterização da dosagem de concreto – Metodologia Marshall

Propriedades	Teor de Ligante (%)				
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Volume de Vazios (%)	5,1	4,6	4,2	3,1	1,9
Relação Ligante Vazios (%)	65	70	74	81	88
Vazios do Agregado Mineral (%)	14,72	15,36	16,18	16,27	16,35
Massa Específica Máxima Teórica (g/cm ³)	2,560	2,540	2,520	2,500	2,481
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	2,430	2,424	2,413	2,423	2,434
Estabilidade (kgf)	1315	1377	1061	1519	1393
Fluência (1/100 in)	15	14	18	17	21
Resistência à Tração (MPa)	1,88	1,85	2,00	1,71	1,41
	3.62				
Módulo de Resiliência (MPa)	0	3.342	3.336	2.649	2.153
Relação Est/Fluência (kgf.m)	122	125	121	159	189

A faixa granulométrica da mistura asfáltica adotada nas obras de ampliação consiste na faixa “C” do DNIT (DNIT - ES 031/2006). Na Tabela 6 constam as informações referentes à faixa granulométrica empregada na mistura asfáltica e na Figura 14 constam as curvas granulométricas dos agregados.

Tabela 6. Distribuição granulométrica dos agregados da mistura asfáltica

Peneiras	Polegada	Mm	Brita ¾"	Brita 3/8"	Pó de pedra
			25%	35%	40%
3/4"		19,10	100,00	100,00	100,00
1/2"		12,70	46,46	99,92	100,00
3/8"		9,50	13,06	95,76	100,00
n 4		4,76	1,63	19,41	99,43
n 10		2,00	1,61	1,58	67,99
n 40		0,420	1,61	1,58	30,37
n 80		0,180	1,61	1,58	20,51
n 200		0,075	1,59	1,55	14,69

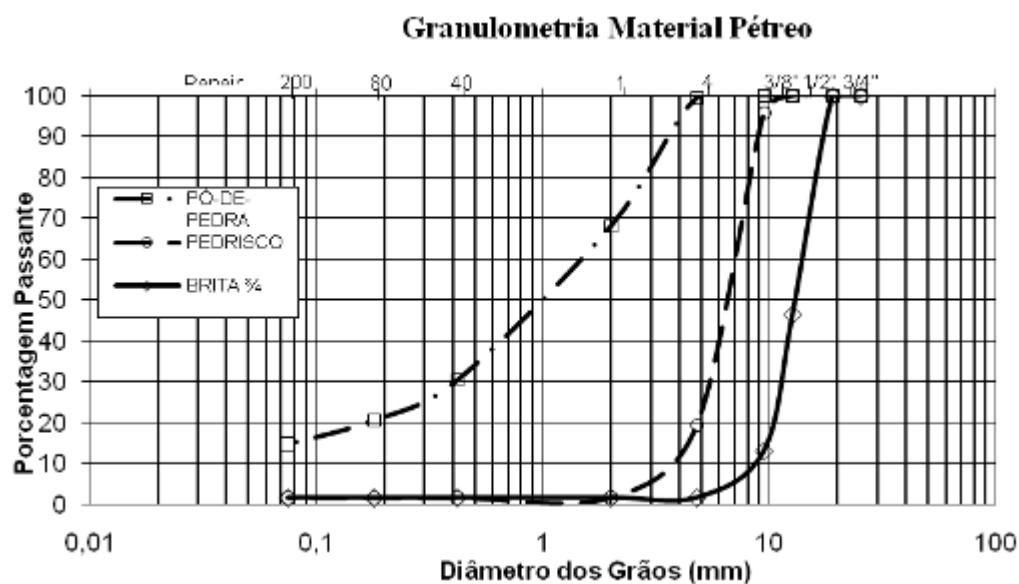


Figura 14. Curvas granulométricas dos agregados da mistura asfáltica

Após a realização dos devidos ensaios, projetou-se que a mistura asfáltica deve ter as propriedades apresentadas na Tabela 7. Na mesma, podem-se verificar os valores aceitáveis de cada característica da mistura asfáltica projetada.

Tabela 7. Características da mistura asfáltica com ligante FLEXPAVE 60/85

Propriedade	DNIT 031/2006 - ES	Valor de Projeto
Teor de Ligante (%)	--	4,70
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,50
Relação Ligante Vazios (%)	75 a 82	72,00
Vazios do Agregado Mineral (%)	>15	15,70
Massa Específica Máxima Teórica (g/cm ³)	--	2,53
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	97% (mínimo)	2,42
Estabilidade (kgf)	>500	1250
Fluência (1/100 in)	--	16
Resistência à Tração (MPa)	>0.65	--

3.2.2. Base de Brita Graduada

A camada de base é composta por brita graduada cuja granulometria aproxima-se ao centro da Faixa A do DNER (1997). Na Figura 15 apresenta-se a faixa granulométrica do material usado na base do pavimento.

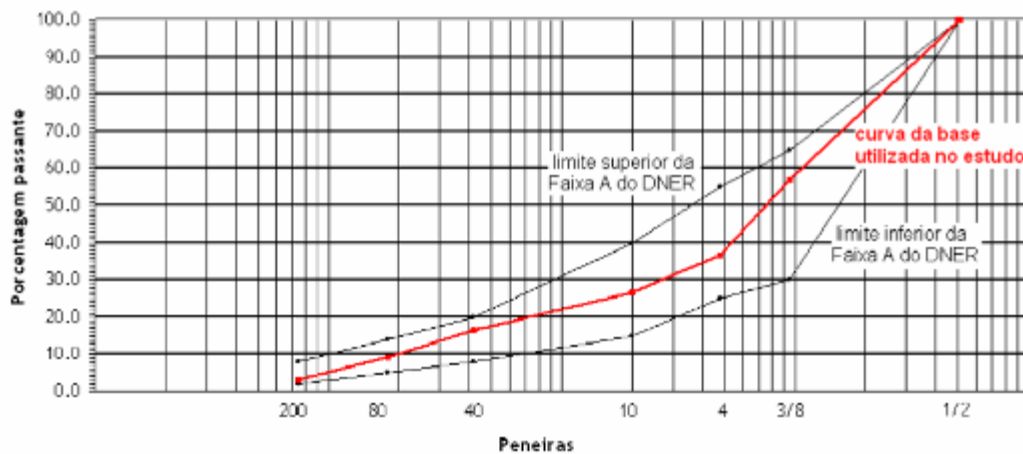


Figura 15. Faixa granulométrica e curva da composição do material empregado na base

O material em questão foi exaustivamente estudado por Casagrande (2003). Analisando o comportamento do Módulo de Resiliência desse material, conforme pode ser observado na Figura 16, obteve-se o seguinte modelo em função da soma das tensões principais (θ):

$$MR = 105 \cdot \left(\frac{\theta}{P_{atm}} \right)^{0,71} \quad (\text{modelo 1})$$

Onde: MR = módulo de resiliência da camada de brita graduada (em MPa);

θ = soma das tensões principais (em MPa).

P_{atm} = pressão atmosférica (0,101 MPa)

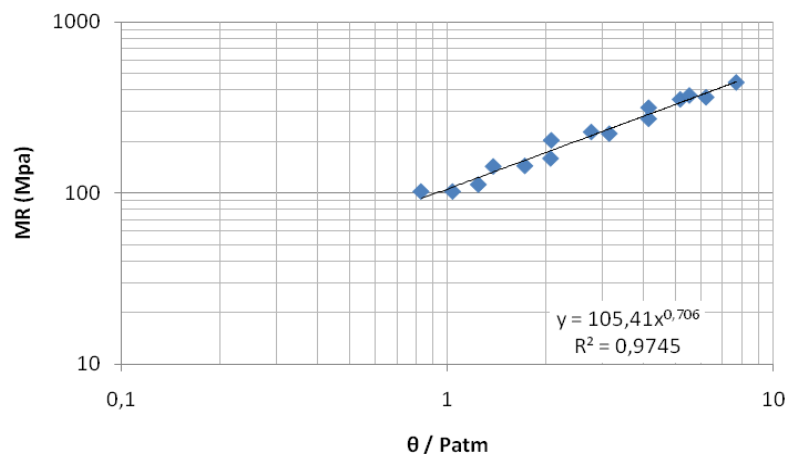


Figura 16. Comportamento Resiliente da Brita Graduada

No modelo acima o valor relativamente elevado do expoente (0,706) evidencia que o estado de tensões atuante na camada influencia fortemente o Módulo de Resiliência dessa Brita Graduada.

3.2.3. Sub-Base de Macadame Seco

A camada de sub-base do pavimento experimental é composta por Macadame Seco, ou seja, agregados obtidos no processo primário de britagem. Também se utilizaram pedriscos na execução desta camada para preencher os vazios e proporcionar maior intertravamento da estrutura. A experiência construtiva na Região Sul do Brasil com esse material tem apresentado bom desempenho, o valor do MR pode chegar a valores relativamente altos (até 400 MPa).

3.2.4. Reforço do Subleito com Areia

A camada de reforço do subleito comumente empregada no pavimento da BR-290/RS é formada por material arenoso, originário do litoral norte do RS. Na Tabela 8 apresenta-se a distribuição granulométrica da areia empregada como reforço do subleito.

Tabela 8. Distribuição granulométrica da areia empregada (CONCEPA, 2007)

Peneiras		Passante (%)
nº	mm	Areia
8	2,38	100,0
30	0,59	99,9
50	0,297	96,2
100	0,149	24,8
200	0,074	1,8

Conforme se apresenta na Figura 17, o ensaio de compactação com Energia Normal apresentou como resultados: a massa específica aparente seca máxima de 1,64 g/cm³ e úmida ótima de 13,5%.

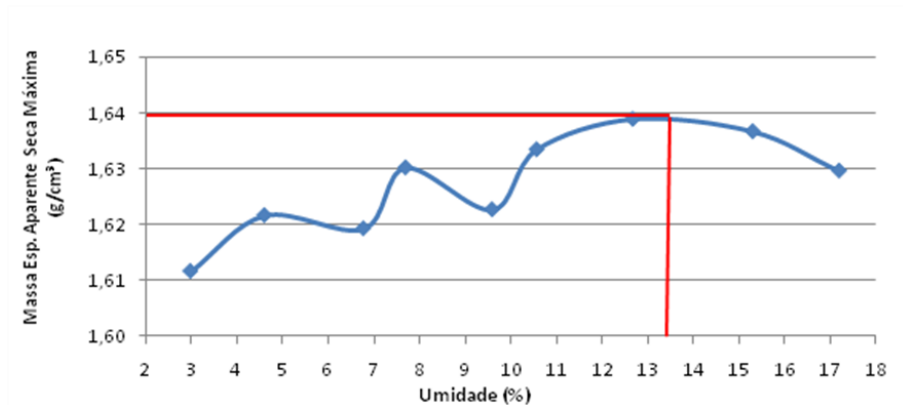


Figura 17. Curva de compactação da areia com Energia Normal de compactação

Ainda visando caracterizar a areia do município de Osório, realizaram-se ensaios de Módulo de Resiliência, conforme Figura 18, o qual resultou o seguinte modelo:

$$MR = 68 \cdot \left(\frac{\theta}{P_{atm}} \right)^{0,68} \quad (\text{modelo 2})$$

Onde: MR = módulo de resiliência da camada de reforço de areia (MPa);

θ = soma das tensões principais (em MPa);

P_{atm} = Pressão atmosférica (0,101 MPa).

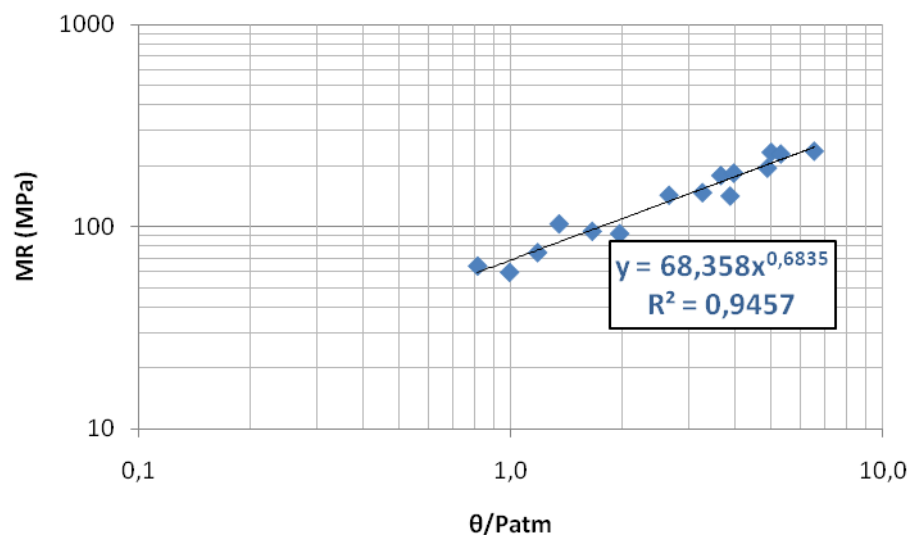


Figura 18. Comportamento resiliente da areia

Constata-se que para valores da soma de tensões principais (θ) inferiores a 0,2 MPa ($\theta/p_{atm} = 2$) os módulos da areia são inferiores a 100 MPa, ou seja, bastante baixos.²

3.2.5. Reforço do Subleito com Pedra

No trecho experimental II, devido à proximidade com a lagoa, o reforço do subleito foi executado com pedra de mão. Essa camada de reforço apresenta agregados com dimensão de várias polegadas e, portanto, facilita a drenagem subterrânea. Além disso, por ser um material basáltico apresenta módulo de resiliência muito superiores ao da areia, podendo ser comparado em magnitude com o do Macadame Seco.

3.3. AVALIAÇÃO DO TRÁFEGO

A Rodovia BR-290/RS trata-se de uma das principais vias do Rio Grande do Sul, cruzando o Estado do litoral Norte em sentido Oeste até Uruguaiana. A Rodovia é uma rota estratégica para o Mercosul e principal acesso à região metropolitana de Porto Alegre. Desta forma, trata-se de uma via com elevado volume de tráfego, principalmente no que se refere ao tráfego comercial.

Particularmente, o trecho da rodovia BR 290/RS (segmento Osório – Porto Alegre) no qual se construirá o trecho experimental apresenta características sazonais em termos de volume de tráfego. Por se tratar de uma via de acesso ao Litoral do Estado, a rodovia apresenta intenso fluxo de veículos no verão, chegando a apresentar um VMD acima de 35 mil veículos nos meses desta estação e VMD próximo a 20 mil veículos nos meses de inverno. Entretanto, quando se considera apenas o tráfego comercial, a sazonalidade não é percebida e o VMDc é de aproximadamente 5,0 mil veículos.

² O emprego de areia como reforço do subleito se deve à inexistência ou à impossibilidade de explorar-se (razões ambientais e econômicas) jazidas de outros materiais vizinhas ao local de implantação da obra. A região apresenta solos muito compressíveis (solos moles), que devem ser reforçados e parcialmente substituídos por materiais granulares com elevado coeficiente de condutividade hidráulica (permeabilidade), sendo por essa razão empregadas areias (solos A-3, com granulometria uniforme).

Analisando-se os dados coletados junto ao Pedágio de Santo Antônio da Patrulha (km 19+000) e dados de contagem de tráfego na BR-101/RS, estima-se que o Número N_{DNIT} da rodovia, para um período de projeto de 10 anos, seja da ordem de $1,1 \times 10^8$. Considerando uma taxa de crescimento do tráfego de 3,0 % a.a.

3.4. DADOS DO CLIMA

Para entender melhor o comportamento de determinados materiais empregados no pavimento, buscou-se informações sobre o clima da região na qual foi construído o trecho experimental. Segundo dados secundários (bibliografia), o trecho da rodovia BR-290/RS, próximo ao município Osório, situa-se numa localidade onde o relevo apresenta poucas variações e existe a ocorrência das chamadas “chuvas de verão”, que duram menos de uma hora. Porém, muitas vezes essas chuvas causam transtornos devido a sua intensidade e concentração em curtos intervalos de tempo.

Quadro 2. Dados mensais da precipitação média na estação meteorológica de Osório

Mês	Precipitação (mm)*	Temperatura Média (°C)
Jan	124,5	22,9
Fev	121,4	23,3
Mar	164,9	22,6
Abr	82,8	20,1
Mai	104	17,5
Jun	119,9	15,0
Jul	122,8	14,8
Ago	157,9	15,2
Set	155,6	16,3
Out	116,1	18,2
Nov	102,6	20,0
Dez	131,9	21,4
Média	150,4	20,2

* período de 1961 a 1990

A análise dos elementos climáticos (precipitação, temperatura e ventos) foi feita com base nos dados da estação meteorológica de Osório. No Quadro 2 apresentam-se os

valores de precipitação pluviométrica, gentilmente cedidos pela Construtora Queiroz Galvão, construtora da Obra de Modernização e Ampliação de Capacidade da BR-101/RS, além dos dados da temperatura mensal média obtida do Banco de Dados Climáticos do Brasil (Embrapa, 2011).

A região estudada fica no micro clima tropical e a temperatura média em Osório é de 20,2 °C, sendo a média anual das temperaturas mínimas igual a 15,9 °C e a média das máximas igual a 25 °C. As temperaturas amenas estão relacionadas ao tipo de relevo em que se encontra a região: Serra Geral.

Os ventos predominantes nesta região são de quadrante nordeste. A velocidade média do vento situa-se entre 6,0 e 7,0 m/s. Nos meses de maio e março a velocidade média é de 3,5 m/s.

3.5 DIMENSIONAMENTO RACIONAL DO PAVIMENTO

3.5.1 O SISPAV

Dentre as etapas mais importantes da pesquisa está verificar o dimensionamento e o desempenho do pavimento utilizando o *software* SISPAV. Esse *software* foi desenvolvido na COPPE/UFRJ e utiliza a teoria da elasticidade para o dimensionamento de pavimentos, além de verificar a vida útil de pavimentos através de modelos de previsão de desempenho.

O SISPAV apresenta uma interface amigável e fácil de usar, consiste basicamente em fornecer dados básicos da estrutura do pavimento, ou seja, as características dos materiais utilizados. Na Figura 19, apresenta-se a interface do SISPAV quanto à entrada de dados referentes à estrutura do pavimento previamente dimensionado.

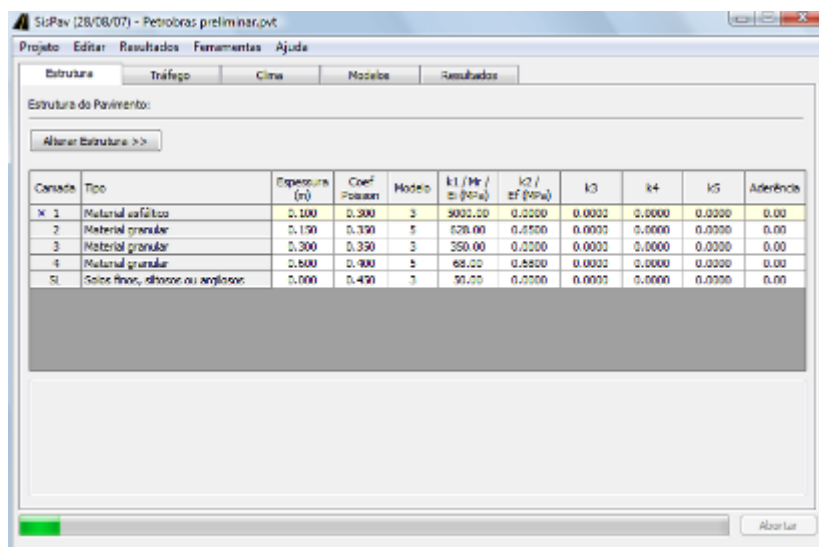


Figura 19. Interface do *software* SISPAV

O critério obrigatório que governará o dimensionamento é a fadiga do revestimento asfáltico ou das camadas cimentadas. Como opção ao projetista, o método proposto permite utilizar outros três critérios adicionais quando selecionados, como a tensão limite no topo do subleito, a deflexão máxima na superfície do pavimento e a deformação permanente, ou afundamento de trilha de roda.

O SisPav utiliza a teoria da elasticidade, por meio do programa AEMC, cuja base foi a rotina JULEA desenvolvida por UZAN (1978). A abordagem da análise elástica não linear é realizada de forma simplificada, com a divisão das camadas com este comportamento em três subcamadas, e de modo semelhante ao detalhado na descrição do AEMC.

A análise pelo SISPAV consistirá em prever o desempenho do pavimento monitorado, considerando os fatores campo-laboratório inclusos no programa, de modo, para tentar observar se na prática ocorre realmente o previsto pelos modelos de previsão utilizados.

Para complementar os dados obtidos em laboratório, utilizou-se outro *software* de análise mecânica, o EVERSTRESS 5.0, para verificar os módulos de elasticidade *in situ*, para tanto se avaliaram as deflexões em campo de cada camada executada do

pavimento. Ainda estudou-se o desempenho pelo *software* M-EPDG, pois este leva em consideração as propriedades peculiares da mistura asfáltica.

3.5.2 O EVERSTRESS 5.0

Nas análises mecánísticas os pavimentos são caracterizados pelas espessuras, módulos de resiliência e coeficientes de Poisson de cada camada, assim como do subleito. Os carregamentos são caracterizados através dos seguintes dados: número de rodas, carga por roda e coordenadas dos centros das rodas. Considera-se que as cargas transmitidas ao pavimento são uniformemente distribuídas em áreas circulares e que a tensão de contato roda-pavimento é igual à pressão de inflação dos pneus.

Para as análises mecánísticas deste dimensionamento foi empregado o *software* EVERSTRESS 5.0, desenvolvido pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Washington (EUA). O *software*, que é universalmente empregado, considera o pavimento como sendo um sistema elástico de múltiplas camadas, permitindo que se avaliem os efeitos de até dez rodas em estruturas com até cinco camadas.

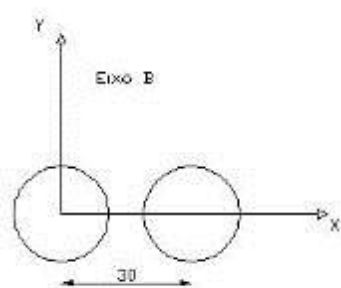
Um aspecto muito interessante do *software* EVERSTRESS 5.0 é que permite que se incluam parâmetros de modelos, possibilitando assim a variação do módulo de resiliência no interior de camadas de solos e britas, em função do estado de tensões que atua à profundidade considerada.

Como dados de entrada incluem-se as características elásticas (módulo de resiliência e coeficiente de Poisson) e as espessuras das camadas.

As características adotadas para o carregamento foram as seguintes:

- Pressão de inflação dos pneus considerada constante, igual a 80 psi (0,56 MPa);
- Duas cargas uniformemente distribuídas sobre áreas circulares, pois se considera apenas o efeito do semi-eixo padrão;
- As magnitudes das cargas por rodas foram definidas dividindo-se a carga do eixo padrão pelo número de rodas, resultando assim: $8.200/4 = 2.050$ kgf ou 20.500 N.

Na Figura 20 apresentam-se esquematicamente as coordenadas das cargas consideradas e o afastamento entre as rodas para o semi-eixo padrão considerado.



As coordenadas dos centros das rodas são:

$$x = 0; y = 0 \text{ e}$$

$$x = 30 \text{ cm}; y = 0$$

Figura 20. Representação esquemática do semi-eixo padrão

As coordenadas (x; y) dos pontos de avaliação são:

- $x = 0; y = 0$ (diretamente abaixo do centro de uma das rodas) e
- $x = 15 \text{ cm}; y = 0$ (no ponto médio entre os centros das duas rodas).

O *software* estima, entre outras, as seguintes respostas estruturais:

- a deflexão superficial (U_z) em milésimos de milímetro;
- a tensão de tração (σ_{xx} ou σ_{yy}) na fibra inferior da camada asfáltica, em MPa;
- a deformação de extensão (ϵ_h) na fibra inferior da camada asfáltica, em microstrain (μstrain^3);
- a tensão vertical (σ_{zz}) no topo do subleito, em MPa, e
- a deformação vertical de compressão (ϵ_{zz}) no topo do subleito, em μstrain .

Estimativa da Vida de Fadiga das Camadas Asfálticas:

Uma vez calculada a deformação de extensão (ϵ_h) na fibra inferior da camada asfáltica crítica (a que está em contato com a base de brita graduada), estimaram-se as vidas de fadiga das seções tipo empregando-se os modelos apresentados no Método Mecânico para Dimensionamento de Pavimentos da República Sul-Africana.

³ 1 microstrain = 10^{-6} m/m

A escolha desse método foi motivada pelos seguintes aspectos:

- I) A República Sul-Africana é reconhecidamente um dos países mais avançados em termos de tecnologia de pavimentação.
- II) Os modelos de fadiga de misturas asfálticas obtidos em ensaios laboratoriais foram calibrados através de cuidadoso monitoramento de pavimentos reais e de ensaios acelerados de pavimentos, com emprego de simulador de tráfego móvel (HVS – *Heavy vehicle simulator*).
- III) Os solos, agregados e demais materiais de pavimentação, assim como o clima, da República Sul-Africana são muito semelhantes aos que ocorrem em grande parte do Sul do Brasil.
- IV) Os modelos têm sido empregados em projetos de recuperação estrutural e ampliação de pavimentos da BR-290/RS, Osório–Porto Alegre, e da BR-116/RS, trecho Porto Alegre-Eldorado do Sul, e outros projetos elaborados no RS e em SC.

O método mecanístico para dimensionamento de pavimentos da República Sul-Africana baseia-se na determinação de respostas do pavimento (tensões, deformações e deslocamentos), assumido como sendo um sistema de camadas múltiplas com comportamento elástico. Para a determinação das respostas do pavimento empregam-se programas computacionais como, por exemplo, o ELSYM5 ou o EVERSTRESS 5.0.

A partir das respostas calculadas, ou seja, tensões, deformações e deflexões, os valores críticos são usados para avaliar as camadas. O comportamento inicial dos materiais é avaliado usando vários critérios de ruptura que limitam o trincamento, as deformações permanentes e a ruptura por cisalhamento que possam acontecer em cada camada.

As misturas asfálticas são materiais viscoelásticos e sob carregamento repetido podem romper por trincamento por fadiga ou deformação permanente ou por uma combinação desses mecanismos de degradação.

O trincamento por fadiga é controlado através da deformação horizontal de extensão (ϵ_h) na fibra inferior da camada. O tráfego equivalente que pode ser suportado até que ocorra o início do trincamento pode ser obtido através de modelos, que são funções do nível de confiabilidade do projeto e do módulo de resiliência da camada asfáltica crítica⁴.

Para misturas asfálticas com módulo de 6000 MPa⁵ e um nível de confiabilidade de 80% o modelo de vida de fadiga é

$$N_f = 10^{15,83 \left(1 - \frac{\log \epsilon_h}{3,383} \right)} \quad (\text{modelo 3})$$

No modelo 3,

N_f é o número de cargas de eixo padrão (calculado com os fatores de equivalência da AASHTO) que produz o início do trincamento por fadiga na camada asfáltica e

ϵ_h é a deformação horizontal de extensão na fibra inferior da camada, em microstrain.

Uma vez que a camada asfáltica é espessa e, que se espera que o trincamento induzido pelo tráfego inicie pela fibra inferior da camada, o pavimento terá condições de suportar um volume superior de tráfego antes que o trincamento seja visível na superfície e alcance o nível definido como limite (por exemplo: 20% de área trincada).

Calcula-se então um número de cargas equivalentes de eixo padrão, correspondente à ruptura por trincamento da camada asfáltica ($N_{\text{trincamento}}$) tal que:

$$N_{\text{trincamento}} = N_f \times \text{Fator de Correção}_{\text{espessura}}$$

Os Fatores de Correção são função da espessura total de camadas asfálticas e para 8 cm assume o valor 3,2.

⁴ A camada asfáltica crítica é a que está submetido aos maiores esforços de tração; no caso a camada inferior, assente sobre a base.

⁵ O valor de 6.000 MPa é representativo dos resultados de laboratório em corpos-de-prova de misturas asfálticas, ensaiados no LAPAV.

3.5.3 O M-EPDG

Com base nos resultados obtidos nas pistas experimentais da AASHO, monitorada sob ação de tráfego de veículos comerciais no período de outubro de 1958 a novembro de 1960, em Ottawa, no Estado de Illinois (EUA), foi elaborado o Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis da AASHTO (1972), após tratamento e análise estatística dos dados obtidos na pista, gerando um método de dimensionamento com base empírica. Esses métodos de dimensionamento empíricos possuem uma série de deficiências, que certamente foram mais evidenciadas nas últimas duas décadas, com o desenvolvimento de *softwares* de análise de tensões e deformações, bem como de modelos de desempenhos elaborados com auxílio de programas computacionais.

Diante das limitações do método empírico da AASHTO, buscaram-se novas alternativas para o dimensionamento de pavimentos. A AASHTO em cooperação com a FHWA (*Federal Highway Administration*), através da NCHRP (*National Cooperative Highway Research Program*), projeto 1-37 A, desenvolveu o Guia de Projeto para Pavimentos Novos e de Reforços (conhecido como Guia da AASHTO), com incorporação de soluções mecanísticos-empíricas e, seus modelos e dados refletem o estado da arte de projeto de pavimentos. Além disto, também teve como objetivo a elaboração de um programa computacional que incorporasse as novas técnicas de projeto do Guia da AASHTO 2002. Segundo Peterlini (2006), com a apresentação do programa MEPDG, conclui-se o projeto 1-37 A, da NCHRP, que foi o maior de todos ao longo de seus 40 anos de existência.

Definições Gerais do M-EPDG

Os modelos numéricos são utilizados para analisar os dados de entrada do tráfego, clima e comportamento dos materiais e para estimar os danos acumulados ao longo da vida útil dos pavimentos novos e os restaurados, de uma proposta de estrutura. É aplicado tanto para pavimentos rígidos, flexíveis e semi-rígidos, podendo ser novos ou a restaurar. As previsões de desempenho são realizadas tendo como base alguns defeitos e a qualidade ao rolamento, através da irregularidade longitudinal. Sobre os danos aos pavimentos flexíveis, abaixo citamos alguns inclusos no programa:

- Deformação permanente (afundamento de trilha de roda);
- Fadiga (trincamento de baixo para cima e de cima para baixo) e
- Trincas térmicas.

Um aspecto interessante no programa MEPDG é o acesso hierárquico, isto é, a consideração de diferentes níveis de precisão dos dados de entrada. O Nível 1, mais elevado, requer do engenheiro-projetista, dados mais precisos, ou seja, ensaios dos materiais, pesagens de veículos, etc. O Nível 2 requer ensaios, mas são permitidos correlações de dados, como por exemplo, módulo do subleito estimado através de correlação com o ensaio do CBR. No Nível 3, estes valores são fornecidos pelo programa, na falta de valores locais.

Para utilização do programa em pavimentos flexíveis é necessário a entrada de dados de tráfego (espectros de carga para eixos simples, os eixos tandem-duplos e eixos tandem-triplos e até mesmo eixos quádruplos), os fatores climáticos e as caracterizações e comportamentos dos materiais integrantes da estrutura. Inclui ainda os critérios de desempenho, baseados na experiência e sensibilidade de cada projetista.

Em resumo, para utilização do programa MEPDG para dimensionamento de pavimentos flexíveis, deve seguir a rotina abaixo:

- Obtenção de dados de tráfego (clima e materiais de construção) e proposição de uma estrutura de pavimento a ser testada;
- Definição de parâmetros de desempenho e sua previsão para toda a vida útil de projeto, com base no nível de confiabilidade, em termos de afundamento na trilha de roda, trincamento por fadiga, trincamento térmico e irregularidade longitudinal;
- Processamento de dados de entrada para obtenção de valores mensais do tráfego, variações sazonais, climáticas e dos materiais da estrutura, necessários nas avaliações durante o desenrolar da vida útil do projeto;

- Computação de respostas estruturais (tensões, deformações e deslocamentos) utilizando-se teoria das multicamadas elásticas ou elementos finitos baseados nos modelos de respostas dos pavimentos, para cada tipo de carga por eixo e para cada cálculo de incremento de danos durante toda a vida útil de projeto;
- Cálculo acumulado dos danos e/ou defeitos no final de cada período de análise durante a vida útil de projeto;
- Previsão dos danos ao final de cada período de análise, durante toda a vida útil de projeto, utilizando-se modelos calibrados de desempenho (mecanístico-empírico), previstos no Guia/2002;
- Previsão de desempenho ao conforto e rolamento através da irregularidade longitudinal (IRI), além de defeitos acumulados ao longo do tempo, ao final de cada incremento de análise;
- Análise do desempenho esperado da estrutura proposta e comparação com os limites estabelecidos inicialmente para os parâmetros em avaliação, no nível de confiabilidade pré-estabelecido;
- No caso de não atendimento, a estrutura de pavimento é alterada e uma nova proposição deve ser avaliada, procedendo desta forma até que se obtenha uma estrutura que atenda aos níveis estabelecidos.

Segundo Peterlini (2006), dentro do programa está clara a divisão em camadas, ou subcamadas, para possibilitar a avaliação das propriedades individuais que podem variar com a profundidade devido às variações da temperatura. Através da utilização do Modelo Avançado e Integrado de Clima (EICM), referindo-se a um grande banco de dados de várias cidades dos Estados Unidos da América, incorporado no programa, são realizadas análises climáticas que ajustam as divisões em subcamadas. Ainda, uma grande contribuição do programa é a utilização de aproximação incremental de dano, que permite considerar as mudanças de muitos parâmetros no dimensionamento (clima, carregamento, propriedades dos materiais) durante toda a vida de projeto. O

mais curto incremento é de uma semana e o mais longo de um mês para pavimentos flexíveis.

Dados de Entrada do M-EPDG:

Um aspecto interessante no programa MEPDG é o acesso hierárquico, isto é, a consideração de diferentes níveis de precisão dos dados de entrada. O Nível 1, mais elevado, requer do engenheiro-projetista, dados mais precisos, ou seja, ensaios dos materiais, pesagens de veículos, etc. O Nível 2 requer ensaios, mas são permitidos correlações de dados, como por exemplo, módulo do subleito estimado através de correlação com o ensaio do CBR. No Nível 3, estes valores são fornecidos pelo programa, na falta de valores locais.

Para utilização do programa em pavimentos flexíveis é necessário a entrada de dados de tráfego (espectros de carga para eixos simples, os eixos tandem-duplos e eixos tandem-triplos e ate mesmo eixos quádruplos), os fatores climáticos e as caracterizações e comportamentos dos materiais integrantes da estrutura. Incluem ainda os critérios de desempenho, baseados na experiência e sensibilidade de cada projetista. Os três diferentes níveis hierárquicos são descritos a seguir:

- Nível 1: requer do projetista a obtenção de dados com maior acurácia, tais como, propriedades obtidas através de ensaios de laboratório, contagem do tráfego (volume e pesagens através de PPV, levantamento deflectométrico com FWD e outros). Este nível pode ser utilizado para pistas experimentais ou para rodovias de alto volume de tráfego.
- Nível 2: destinado a utilização em projetos correntes, requer ensaios, mas o uso de correlações é permitido. Correlações regionais entre propriedades dos materiais de pavimentação são aceitas, como exemplo, módulo do subleito podendo ser estimado através de correlação empírica com o CBR. Possui moderado nível de confiança de desempenho.

- Nível 3: consiste de valores totalmente estimados. Na falta, adotam-se os oferecidos pelo próprio programa com base na experiência norte-americana. Possui o menor nível de confiança dos 3, devendo ser utilizado para rodovias de baixo volume de tráfego.

Portanto, no nível 1 tem-se a probabilidade de ocorrer menos erros do que os níveis 2 e 3. Desta forma o nível escolhido para entrada de dados está relacionado à precisão do projeto final.

É possível utilizar diferentes níveis de precisão para cada tipo de dado de entrada, possibilitando que o conhecimento de certos parâmetros para um dado material possa ser utilizado, melhorando a precisão deste, mesmo que nos outros dados o nível hierárquico seja menor. Por exemplo, em certa região os dados do subleito podem estar bem caracterizados e pode-se estar projetando a utilização de uma nova camada do pavimento com um material com menos dados de caracterização disponíveis no momento.

3.6 EXECUÇÃO DO PAVIMENTO NO TRECHO MONITORADO

Visando obter um pleno conhecimento das características funcionais e estruturais do pavimento monitorado, realizou-se o acompanhamento da execução das camadas que o compõe. Cabe salientar que o segmento experimental III é no acostamento e tem única finalidade de analisar o efeito do clima no pavimento sem a ação do tráfego, portanto, não foi acompanhada a execução do mesmo.

3.6.1. Reforço do Subleito

Reforço do Subleito com Areia:

A execução da camada de reforço do subleito com areia no trecho experimental I foi executada no dia 29/06/2010. Conforme pode ser visto na Figura 21, essa camada foi assentada sobre os dispositivos de drenagem.



Figura 21. Execução da camada de areia

Para verificar a capacidade estrutural dessa camada realizou-se o ensaio do Frasco de Areia, do qual se obteve os seguintes resultados para o grau de compactação:

Tabela 9. Grau de compactação da camada de reforço

Estaca (km)	Grau de compactação (%)
14+700	102,3
14+500	100,4
14+400	101,2

Reforço do Subleito com Pedra:

No trecho do segmento experimental II foi realizada a camada de reforço do subleito com Pedras no dia 22/07/2011, porém devido a dimensão do agregado não foi possível realização o ensaio de Grau de Compactação. Portanto, alternativamente acompanhou-se a compactação dessa camada indiretamente pelas medidas deflectométricas utilizando a Viga Benkelman Conforme pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10. Levantamento deflectométrico da camada de reforço com pedra

Estaca (km)	Deflexão (0,01 mm)	Trilha de Roda
5+460	60	LD
5+440	62	LE
5+420	46	LD
5+400	60	LE
5+380	50	LD
5+360	50	LE
5+340	46	LD
5+320	80	LE
5+300	84	LD
Resumo dos dados		
Deflexão Média do Trecho (0,01 mm):		60

3.6.2. Sub-base de Macadame Seco

A camada de sub-base de Macadame Seco do trecho experimental I foi executada no dia 15/07/2010 e devido ao tamanho do agregado não foi possível obter diretamente o grau de compactação, realizando-se, então, o levantamento defletométrico para avaliar estruturalmente essa camada. O mesmo vale para a camada de sub-base do trecho experimental II que foi executada no dia 27/07/2011. Pela Figura 22 é possível ter uma noção da dimensão média dos agregados utilizados e na Figura 23 apresenta-se o processo de compactação da camada.



Figura 22. Tamanho do agregado empregado na camada de sub-base



Figura 23. Compactação do Macadame Seco

Conforme visto na Figura 23, foi colocado material de granulometria fina sobre o Macadame para garantir maior travamento dos agregados.

Na Tabela 11, apresentam-se os resultados deflectométricos obtidos na camada de macadame seco com espessura de 30 cm.

Tabela 11. Levantamento deflectométrico da camada de sub-base

Estaca (km)	Deflexão (0,01 mm)	Trilha de Roda
14+700	78	LD
14+680	74	LE
14+660	72	LD
14+640	74	LE
14+620	78	LD
14+600	74	LE
14+580	80	LD
14+560	74	LE
14+540	70	LD
14+520	72	LE
14+500	70	LD
14+480	64	LE
14+460	66	LD
14+440	70	LE
14+420	64	LD
14+400	66	LE
5+500	64	LD
5+480	90	LE
5+460	54	LD
5+440	66	LE
5+420	80	LD
5+400	68	LE
5+380	60	LD
5+360	78	LE
5+340	70	LD
5+320	80	LE
5+300	86	LD
5+280	60	LE
Resumo dos dados		
Deflexão Média do Trecho I (0,01 mm):		72
Deflexão Média do Trecho II (0,01 mm):		71

Como pode ser observado na Tabela 11, o trecho monitorado apresenta uma variabilidade defletométrica relativamente baixa na sub-base de macadame seco. A deflexão média no segmento I é 72×10^{-2} mm e do segmento II é 71×10^{-2} mm.

3.6.3. Base de Brita Graduada

A camada de Base com Brita Graduada do segmento experimental I foi executada no dia 08/08/2010, e logo após imprimada, enquanto que no segmento II foi executada no dia 07/09/2011. Na Figura 24, observa-se a camada de Brita Graduada finalizada e a espera da execução da imprimação para posterior execução do revestimento asfáltico.



Figura 24. Camada de Base com Brita Graduada

Para verificar a qualidade estrutural da camada de base, além do levantamento defletométrico, realizou-se o ensaio de Frasco de Areia. Os resultados obtidos para a compactação podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12. Grau de compactação da camada de base

Estaca (km)	Grau de compactação (%)
14+700	100,04
14+480	100,46
5+380	100,11
5+100	100,29

Na Tabela 13, apresentam-se os resultados deflectométricos obtidos na camada de brita graduada com espessura de 15 cm.

Tabela 13. Levantamento deflectométrico da camada de base

Estaca (km)	Deflexão (0,01 mm)	Trilha de Roda
14+700	60	LD
14+680	64	LE
14+660	54	LD
14+640	77	LE
14+620	80	LD
14+600	79	LE
14+580	64	LD
14+560	50	LE
14+540	64	LD
14+520	58	LE
14+500	78	LD
14+480	60	LE
14+460	76	LD
14+440	52	LE
14+420	52	LD
14+400	70	LE
5+500	60	LD
5+480	80	LE
5+460	78	LD
5+440	68	LE
5+420	66	LD
5+400	76	LE
5+380	68	LD
5+360	70	LE
5+340	64	LD
5+320	72	LE

Continuação da Tabela 13

Estaca (km)	Deflexão (0,01 mm)	Trilha de Roda
5+300	74	LD
5+280	66	LE
Resumo dos dados		
Deflexão Média do Trecho I (0,01 mm):		66
Deflexão Média do Trecho II (0,01 mm):		70

Como pode ser observado na Tabela 13, o trecho monitorado apresenta variabilidade defletométrica muito baixa na camada de brita graduada, sendo a deflexão média no segmento I igual a 66×10^{-2} mm e no segmento II igual a 70×10^{-2} .

3.6.4. Revestimento Asfáltico

A execução da camada de revestimento asfáltico do segmento experimental I ocorreu no dia 03/12/2010, quando foi feita a primeira camada com espessura de 4,0 cm sobre a base do pavimento e na sequência a segunda camada também de 4,0 cm. Na Figura 25 observa-se que o processo de ampliação da rodovia BR-290/RS consiste em uma faixa adicional com acostamento.



Figura 25. Camada de Revestimento Asfáltico

Durante a execução do revestimento do trecho experimental foi realizado um controle tecnológico na usina, adotando-se como referência o seguinte *check list*:

- Controlar a temperatura do ligante no tanque;
- Coletar ligante no tanque;
- Coletar agregados nos silos quentes ou nas pilhas;
- Controlar a temperatura do material nas calhas;
- Extração de ligante e análise granulométrica de amostras de massa asfáltica na usina e
- Controlar a temperatura da massa asfáltica antes do caminhão sair da usina, quando o caminhão chegar ao local de execução do trecho e antes da compactação.

Ainda para complementar o controle foram coletados 30 kg de massa asfáltica da usina para a realização de ensaios em laboratório de dano por umidade induzida, verificação da adesividade e Rice (densidade máxima). A Figura 26 mostra a quantidade de material que foi submetida a ensaios laboratoriais.



Figura 26. Coleta de massa asfáltica para ensaios em laboratório

Nas Figuras 27 e 28 apresentam-se atividades de controle de temperatura da massa asfáltica em campo, ou seja, no momento que o caminhão chegou ao trecho, no momento após o espalhamento e antes da compactação da massa asfáltica. Conforme a Tabela 14, os resultados mostraram que não ocorreram grandes perdas de temperatura no deslocamento do caminhão da usina até o trecho experimental.

Tabela 14. Controle da temperatura da massa asfáltica

Placa do caminhão	T (°C) na saída da usina	T (°C) na chegada no trecho	T (°C) na compactação	Perda de temperatura (°C)
Trecho experimental I				
MXM 0211	167,0	165,9	165,0	2,0
IDB 5257	165,0	161,8	160,8	4,2
MEF 2563	162,0	158,5	158,2	3,8
IMB 6045	165,0	164,4	164,0	1,0
IQN 5591	166,0	163,1	161,0	4,0
IFL 9835	168,0	165,1	165,0	3,0
Trecho experimental II				
IKS 5013	155,0	151,0	151,0	4,0
IQS 1442	160,0	159,0	158,0	2,0
IHM 7469	170,0	168,0	166,0	4,0
IFB 3014	155,0	154,0	154,0	1,0
IFY 6375	158,0	155,0	155,0	3,0
IDV 8226	154,0	153,0	150,0	4,0
JJC 4815	155,0	152,0	152,0	3,0
MBE 6300	160,0	158,0	157,0	3,0
IJV 9310	155,0	152,0	150,0	5,0
IBR 6507	154,0	151,0	151,0	3,0

Em geral, a temperatura da massa asfáltica na saída do caminhão da usina foi de aproximadamente 165°C, a temperatura de chegada de aproximadamente 163° C e a temperatura no momento de compactação foi de aproximadamente 162°C.



Figura 27. Controle da temperatura da massa no momento da chegada do caminhão



Figura 28. Controle da temperatura da massa antes da compactação

A compactação de cada camada de revestimento asfáltico foi executada por um rolo liso (cuja função é apenas nivelar a superfície) e por dois rolos pneumáticos. Na Figura 29 observam-se equipamentos utilizados na compactação da camada final do pavimento.



Figura 29. Compactação da camada de revestimento asfáltico

Imediatamente após a compactação, utilizou-se ao longo do trecho o densímetro não-nuclear para averiguar se a camada asfáltica atingiu o grau de compactação em campo. Na Figura 30, observa-se uma medição utilizando tal equipamento. Sendo que em cada ponto medido foi solicitada a extração de corpos de prova (CP's) para determinar o grau de compactação dessa camada em laboratório. A coleta de CP's se dará também na continuidade da pesquisa, com a finalidade de observar se está ocorrendo a densificação do revestimento.



Figura 30. Controle da compactação em campo utilizando o densímetro não-nuclear

Em campo, os sete pontos de controle, defasados em 50 m ao longo dos 300 m de trecho monitorado, apresentaram Grau de Compactação superior aos 97% exigidos por norma. Na Tabela 15 está o grau de compactação medido para cada CP de diâmetro de 10,10 cm extraído do revestimento, como se pode observar, todos apresentaram em laboratório a compactação necessária.

Tabela 15. Grau de compactação dos CP's extraídos

n° CP	Estaca (km)	Peso Ar (g)	Peso Imerso (g)	Densidade (g/cm ³)	Grau de compactação (%)
1	14+700	1357,93	792,99	2,404	99,3
2	14+650	1342,60	785,85	2,411	99,6
3	14+600	1479,46	868,04	2,420	100,0
4	14+550	1260,42	740,65	2,425	100,2
5	14+500	1418,35	826,51	2,397	99,0
6	14+450	1293,21	754,87	2,402	99,3
7	14+400	1231,20	715,47	2,387	98,6
1	5+500	1342,90	785,85	2,411	99,5
2	5+400	1428,35	826,51	2,397	99,2
3	5+300	1342,80	785,85	2,411	99,3
4	5+200	1431,35	826,51	2,397	99,7
5	5+100	1479,46	861,44	2,420	100,2
6	5+000	1260,42	741,35	2,425	100,5

Lembra-se que a “densidade” de projeto é de $2,42 \text{ g/cm}^3$ e que o grau de compactação é obtido pela razão entre a densidade medida e a densidade de projeto.

Passados 10 (dez) dias da execução do trecho experimental realizaram-se os primeiros levantamentos no trecho monitorado. Os levantamentos executados foram: deflectométrico, de Irregularidade longitudinal e aderência pneu-pavimento.

Na Tabela 16, apresentam-se os resultados deflectométricos obtidos na camada de revestimento asfáltico com espessura de 8 cm.

Tabela 16. Levantamento deflectométrico da camada de revestimento levantados com

Viga Benkelman

Estaca (km)	Deflexão (0,01 mm)	Trilha de Roda
14+700	31	LD
14+680	29	LE
14+660	27	LD
14+640	26	LE
14+620	26	LD
14+600	28	LE
14+580	29	LD
14+560	28	LE
14+540	31	LD
14+520	33	LE
14+500	35	LD
14+480	28	LE
14+460	31	LD
14+440	35	LE
14+420	38	LD
14+400	29	LE
5+500	30	LD
5+480	32	LE
5+460	30	LD
5+440	30	LE
5+420	26	LD
5+400	26	LE
5+380	32	LD
5+360	26	LE
5+340	28	LD

Continuação da Tabela 16

Estaca (km)	Deflexão (0,01 mm)	Trilha de Roda
5+320	28	LE
5+300	28	LD
5+280	26	LE
Resumo dos dados		
Deflexão Média do Trecho I (0,01 mm):		30
Deflexão Média do Trecho II (0,01 mm):		29

Como pode ser observado na Tabela 17, a deflexão média deste segmento I apresenta o valor de 30×10^{-2} mm, enquanto que do segmento II apresenta o valor de 29×10^{-2} mm.

Na sequência foi realizado o levantamento de Irregularidade Longitudinal na superfície de rolamento do pavimento experimental I e II. Para tal, utilizou-se um perfilômetro inercial com 5 sensores lasers para obtenção da Irregularidade, sendo apresentados na Tabela 17 os resultados do levantamento.

Tabela 17. Resultado do levantamento de irregularidade na camada de rolamento

Início (km)	Fim (km)	QI Médio (cont/km)
14,7	14,68	15,2
14,68	14,66	14,8
14,66	14,64	16
14,64	14,62	12,2
14,62	14,6	14,1
14,6	14,58	15,9
14,58	14,56	14,4
14,56	14,54	13
14,54	14,52	14,3
14,52	14,5	15,8
14,5	14,48	13,7
14,48	14,46	15,2
14,46	14,44	15,3
14,44	14,42	14,7
14,42	14,4	15,7
5,5	5,48	11

Continuação da Tabela 17

Início (km)	Fim (km)	QI Médio (cont/km)
5,48	5,46	7,8
5,46	5,44	9,1
5,44	5,42	16,4
5,42	5,4	14,6
5,4	5,38	4,2
5,38	5,36	5,2
5,36	5,34	12,4
5,34	5,32	12,7
5,32	5,3	13,8
5,3	5,28	3
5,28	5,26	12,9
5,26	5,24	11,1
5,24	5,22	16,2
5,22	5,2	7
5,2	5,18	13,6
5,18	5,16	3,4
5,16	5,14	16,6
5,14	5,12	29,9
5,12	5,1	11,7
5,1	5,08	4
5,08	5,06	27,7
5,06	5,04	19,9
5,04	5,02	16,7
5,02	5	17,6

Salienta-se que a média da irregularidade medida no trecho I foi de 14,68 e no trecho II foi de 12,74.

Por fim, realizou-se o levantamento da aderência pneu-pavimento em termos de microtextura e macrotextura. Na Tabela 18 podem ser observados os resultados dos ensaios de Pêndulo Britânico e Mancha de areia, respectivamente.

Tabela 18. Resultado do levantamento de microtextura e macrotextura

Estaca (km)	Microtextura (VRD)	Classificação	Macrotextura (mm)	Classificação	Trilha de Roda
14+700	76	Muito Rugosa	0,75	Média	LD
14+680	65	Rugosa	0,97	Grossa	LE
14+660	74	Rugosa	0,89	Grossa	LD
14+640	63	Rugosa	0,72	Média	LE
14+620	57	Rugosa	0,71	Média	LD
14+600	71	Rugosa	0,71	Média	LE
14+580	60	Rugosa	0,69	Média	LD
14+560	55	Rugosa	0,88	Grossa	LE
14+540	71	Rugosa	0,75	Média	LD
14+520	69	Rugosa	1,06	Grossa	LE
14+500	63	Rugosa	0,69	Média	LD
14+480	70	Rugosa	0,77	Média	LE
14+460	62	Rugosa	0,67	Média	LD
14+440	65	Rugosa	0,74	Média	LE
14+420	66	Rugosa	0,61	Média	LD
14+400	62	Rugosa	0,82	Grossa	LE
5+500	68	Rugosa	0,75	Média	LD
5+400	66	Rugosa	0,83	Grossa	LE
5+300	65	Rugosa	0,76	Média	LD
5+200	71	Rugosa	0,79	Média	LE
5+100	69	Rugosa	0,82	Grossa	LD
5+000	68	Rugosa	0,75	Média	LE

Conforme a classificação contida na Tabela 18, constata-se que o trecho monitorado apresenta boas condições de textura superficial. Inclusive apresentando valores de textura superiores aos comumente encontrados para as misturas de CBUQ.

O passo seguinte após a execução do trecho experimental e desse levantamento inicial consiste na realização de levantamentos periódicos para verificar o desempenho deste pavimento. A pesquisa em questão prevê a realização de levantamentos das condições do pavimento após uma semana da construção, após um mês da construção, e depois a cada seis meses. A Tabela 19 sintetiza os procedimentos de avaliação programados para o trecho experimental, que, dentro do possível, foram seguidos.

Tabela 19. Avaliações periódicas pós-execução do trecho experimental

Avaliação	Uma semana	1 mês	6 meses	Ao 1º ano e a cada 6 meses
Extração de CPs para ensaios de laboratório	X		X	X
Medidas de Deflexão	X		X	X
Levantamento de Irregularidade Longitudinal e Transversal	X		X	X
Medidas de Aderência Pneu-pavimento	X	X	X	X
Levantamento de Defeitos Superficiais	X	X	X	X
Medida de Permeabilidade do Revestimento	X		X	X
Levantamento Visual Contínuo		X		X

4. ANÁLISE DOS DADOS INICIAIS DOS TRECHOS EXPERIMENTAIS

4.1 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

Os pavimentos, geralmente, são estruturas que não experimentam ruptura súbita, porém, sofrem um processo de degradação acumulativa conforme a passagem do tráfego e as condições climáticas a que estão submetidos. Nesse contexto, salienta-se que a avaliação estrutural do pavimento está vinculada à capacidade de carga que a estrutura suporta. Sendo que os defeitos estruturais resultam pela repetição das cargas e estão associados às deformações elásticas e plásticas. Dessa forma, buscou-se nesse item analisar o comportamento estrutural do pavimento monitorado, com ênfase nas deflexões obtidas após a execução do trecho que será monitorado.

4.1.1. Análise das Deflexões Admissíveis no Pavimento

Para avaliar as deflexões obtidas em campo no trecho monitorado, determinou-se a deflexão admissível através de duas normas vigentes no DNIT: o Procedimento - B (DNER-PRO 011/79) e o DNER-PRO 269/94(TECNAPAV). Na sequência, apresentam-se os modelos utilizados, respectivamente.

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (\text{modelo 4})$$

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 \log N \quad (\text{modelo 5})$$

Na Tabela 20, podem ser observados os valores obtidos para a deflexão admissível (D_{adm}) do trecho estudado, bem como a deflexão média ($D_{méd}$) obtida do mesmo em campo.

Tabela 20. Deflexão admissível do trecho estudado

Item	Modelo	Deflexão (0,01 mm)
Deflexão Admissível PRO 011/79	7	45
Deflexão Admissível PRO 269/94	8	50
Deflexão Característica	4	30

Conforme pode ser observado na Tabela 20, a deflexão característica obtida em campo para o segmento estudado está abaixo da deflexão admissível prevista por norma. Dessa forma, à luz dos Procedimentos considerados, baseados em critério deflectométrico, pode-se concluir que o trecho apresenta capacidade estrutural adequada para suportar o tráfego de projeto⁶.

4.1.2. Análise das Propriedades do Revestimento Executado

Para enriquecer a avaliação estrutural do pavimento estudado foram coletadas amostras de massa asfáltica dos caminhões utilizados para a execução do revestimento no segmento estudado. As amostras foram analisadas quanto ao teor de ligante e granulometria. No total foram ensaiadas 7 amostras, uma de cada caminhão. Na tabela 21 são apresentados os resultados de teor de ligante determinados em forno de ignição (identificados como “Troxler”). Para obterem-se os teores de ligante das amostras extraídas, multiplicaram-se os “Teores de Troxler” pelo fator de calibração para a mistura em questão, que é a 0,87.

Tabela 21. Teor de ligante existente no revestimento executado

nº amostra	Teor de Troxler (%)	Teor de Ligante (%)
1	5,06	4,4
2	5,02	4,4
3	5,15	4,5
4	5,34	4,6
5	5,07	4,4
6	5,06	4,4
7	5,35	4,7

⁶ Na realidade, o comportamento de um pavimento não deve ser analisado unicamente à luz das deflexões. Sabe-se que os trincamentos por fadiga são decorrentes das deformações horizontais de extensão na camada asfáltica e que estas são fortemente influenciadas pela tensão de tração, que, por sua vez, depende da espessura da camada asfáltica e da relação entre os módulos de resiliência dessa camada asfáltica e da base subjacente. Contudo, como a deflexão é a única resposta estrutural do pavimento que pode ser medida com facilidade (para medir deformações e as tensões decorrentes é necessário instrumentar pavimentos), tem-se adotado historicamente a associação do volume de tráfego previsto a uma deflexão admissível.

Lembrando que o valor de teor de ligante do projeto é de 4,7%, com uma variação permitida de $\pm 0,3\%$, portanto as amostras coletadas estão dentro da variação aceitável prevista em projeto.

Nas Figuras de 31 a 37, observa-se a composição granulométrica das misturas coletadas em campo, bem como a faixa de trabalho determinada em projeto.

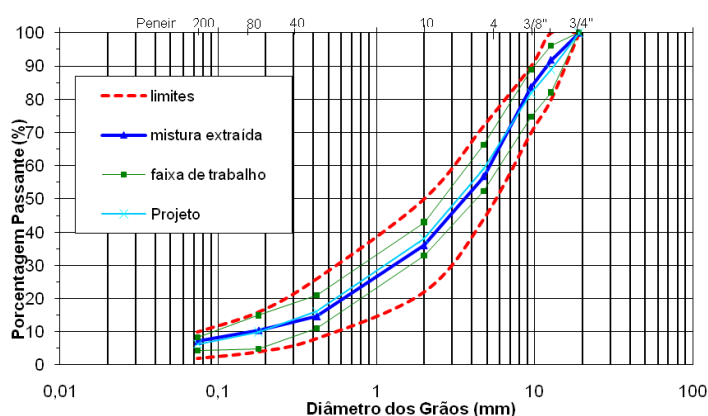


Figura 31. Composição granulométrica da amostra 1 – Faixa C DNIT

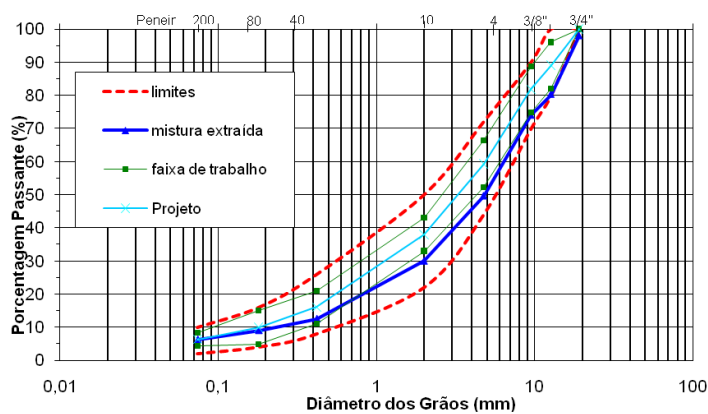


Figura 32. Composição granulométrica da amostra 2 – Faixa C DNIT

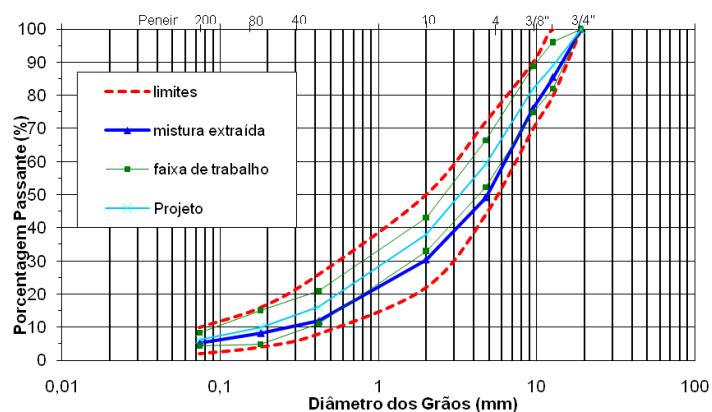


Figura 33. Composição granulométrica da amostra 3 – Faixa C DNIT

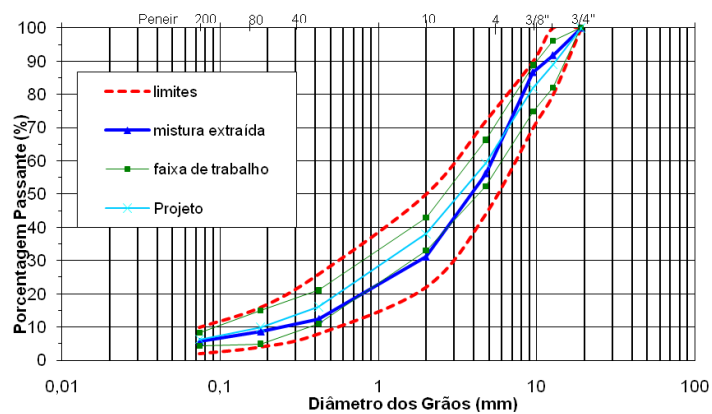


Figura 34. Composição granulométrica da amostra 4 – Faixa C DNIT

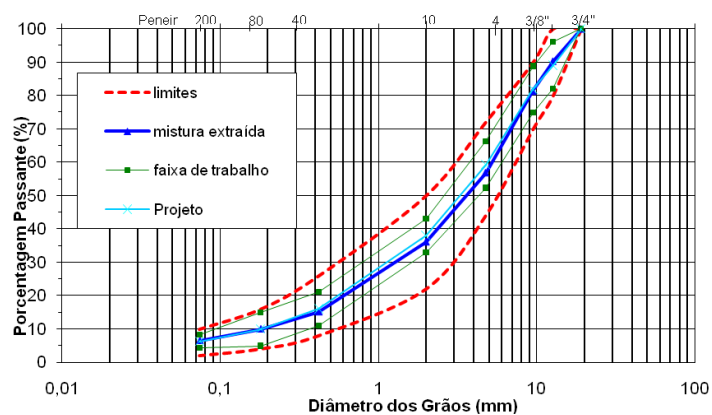


Figura 35. Composição granulométrica da amostra 5 – Faixa C DNIT

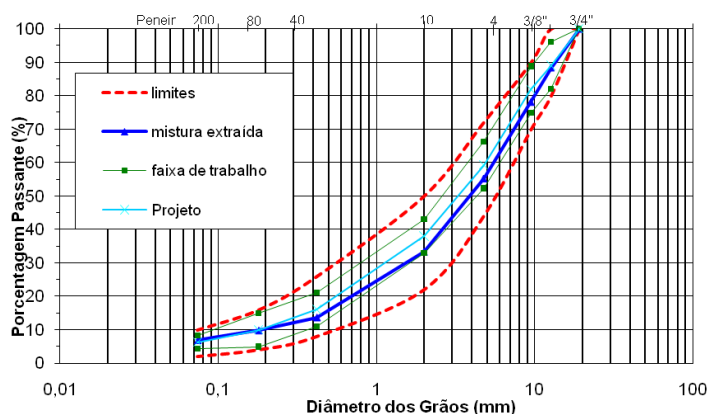


Figura 36. Composição granulométrica da amostra 6 – Faixa C DNIT

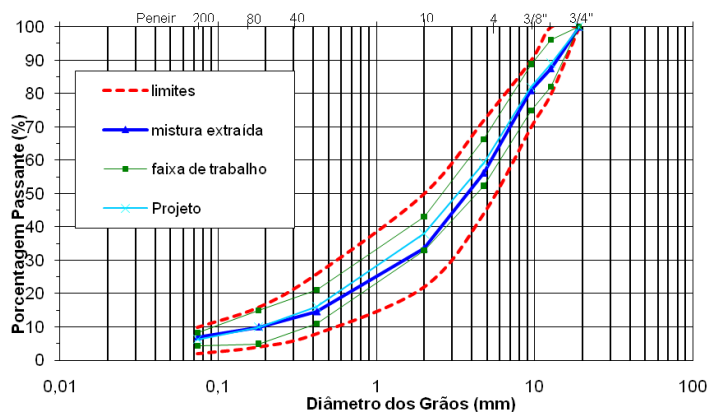


Figura 37. Composição granulométrica da amostra 7 – Faixa C DNIT

Conforme pode ser observado nas Figuras 31 a 37, a composição granulométrica dos agregados extraídos de todas as amostras está dentro da faixa de trabalho permitida. Portanto, a mistura asfáltica foi executada observando integralmente o Projeto da Mistura apresentado no capítulo 3.

Por fim, realizaram-se ensaios de Módulo de Resiliência (MR) e Resistência à Tração (RT) em 7 corpos de prova (CPs) extraídos a cada 50 m do trecho monitorado do segmento I e a cada 100 m no trecho II. Os resultados estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Módulo de Resiliência e Resistência à Tração a 25°C

n° CP	MR (MPa)	RT (MPa)
Trecho I		
1	-	1,42
2	5913	1,58
3	5958	1,47
4	6014	1,55
5	5893	1,49
6	5825	1,53
7	5986	1,56
Análise dos Dados		
Média	5932	1,51
Trecho II		
1	2923	1,66
2	3778	1,51
3	3501	1,47
4	2708	1,53
5	2330	1,45
Análise dos Dados		
Média	3227	1,52

Pela Tabela 22, constata-se que o trecho I estudado apresentou um revestimento asfáltico com MR médio de aproximadamente 6.000 MPa e RT média de 1,51 MPa. Enquanto que o trecho II apresentou MR de aproximadamente 3.200 MPa e RT média de 1,52 MPa.

4.1.3. Análise dos Módulos de Resiliência em campo

Para analisar o comportamento resiliente dos materiais em campo, recorreu-se às deflexões medidas em campo apresentadas nas Tabelas 11, 13 e 16. Com as deflexões médias no topo de cada camada de material, utilizou-se o *software* EVERSTRESS para estimar, iterativamente, os Módulos de Elasticidade das camadas in situ, à medida que o processo construtivo avançava.

Na Tabela 23 apresentam-se os valores obtidos com o EVERSTRESS.

Tabela 23. Valores do MR em campo conforme a execução das camadas

SEGMENTO EXPERIMENTAL I (KM 14+700 – KM 14+400)				
Camada	MR (em MPa) com base na deflexão por camada executada			
	Areia	Macadame	Brita Grad.	CBUQ
Revestimento	-	-	-	5000
Base	-	-	280	270
Sub-base	-	300	330	320
Reforço	30	70	50	50
Subleito	20	60	40	40
SEGMENTO EXPERIMENTAL II (KM 5+500 – KM 5+000)				
Camada	MR (em MPa) com base na deflexão por camada executada			
	Pedra	Macadame	Brita Grad.	CBUQ
Revestimento	-	-	-	5000
Base	-	-	250	280
Sub-base	-	320	380	350
Reforço	150	180	200	250
Subleito	20	50	40	40
SEGMENTO EXPERIMENTAL III (KM 4+960 – KM 4+860)				
Camada	MR (em MPa) com base na deflexão por camada executada			
	Pedra	Macadame	Brita Grad.	CBUQ
Revestimento	-	-	-	5000
Base	-	-	-	224
Sub-base	-	-	-	320
Reforço	-	-	-	80
Subleito	-	-	-	50

Mesmo que os Módulos das camadas apresentados na última coluna da Tabela 23 sejam coerentes com valores característicos de pavimentos construídos no Sul do País, é preciso salientar que essa análise é preliminar, pois ainda não tem a acurácia necessária para permitir se concluir que esses módulos são representativos das camadas o pavimento.

4.2 AVALIAÇÃO FUNCIONAL

A avaliação do desempenho de um determinado pavimento está intimamente relacionada, além da capacidade de suporte, ao conforto ao rolamento e a segurança dos usuários. Sendo que o usuário da via valoriza mais o estado da superfície do

pavimento, pois os defeitos afetam diretamente o seu conforto. Assim, nesse item aborda-se a avaliação funcional do trecho monitorado analisando a serventia, irregularidade longitudinal e a aderência pneu-pavimento.

4.2.1. Análise da Serventia

Para analisar a serventia do pavimento monitorado recorreu-se ao método subjetivo denominado de Valor de Serventia Atual (VSA ou *Present Serviceability Ratio - PSR*). Tal método consiste em aplicar uma atribuição numérica em uma escala de 0 a 5.

Observando a superfície do pavimento percebe-se que a mesma, logo após a construção do pavimento, não apresentou defeitos comuns como exsudação e deformações permanentes, dessa forma atribui-se que o VSA dos dois trechos possui nota 5 que corresponde ao conceito ótimo.

4.2.2. Irregularidade Longitudinal

A irregularidade longitudinal consiste na soma dos desvios superficiais do pavimento em relação à de projeto. Em geral é expresso pelo índice designado de IRI (*International Roughness Index*), em m/km. Segundo Bernucci *et. al* (2007), o IRI vem sendo utilizado para o controle de obras e aceitação de serviços em alguns países. Salienta-se que os valores de Irregularidade Longitudinal apresentados na Tabela 17, após a conclusão da camada de revestimento estão dentro do esperado para um pavimento novo recém executado.

4.2.3. Análise da Aderência Pneu-Pavimento

Em termos de aderência pneu-pavimento o trecho monitorado apresentou valores satisfatórios tanto na macrotextura quanto na microtextura. Desse modo, pode-se dizer que o trecho em questão foi avaliado positivamente quanto à segurança viária oriunda de aspectos superficiais do pavimento.

Na Figura 38 apresentam-se os valores da macrotextura medida com o ensaio de Mancha de Areia na trilha de roda direita (TRD) e na Figura 39 a macrotextura da trilha esquerda (TRE).

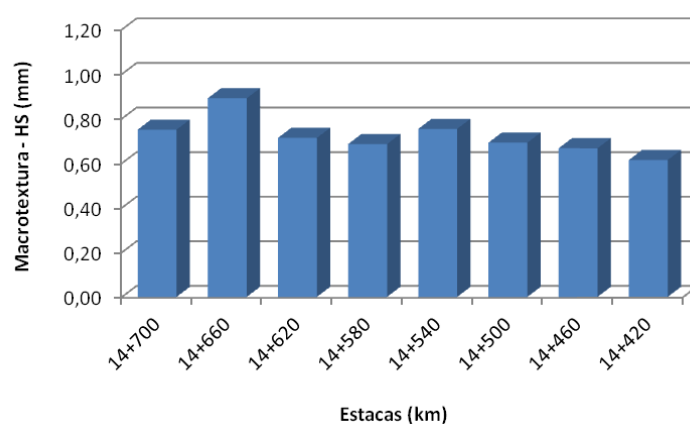


Figura 38. Medidas da macrotextura na TRD do segmento I

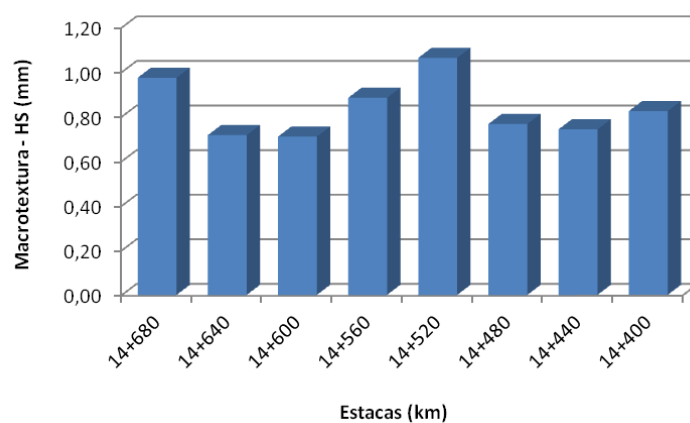


Figura 39. Medidas da macrotextura na TRE do segmento I

Conforme pode ser observado, a macrotextura superficial do pavimento monitorado foi classificada na faixa de média a grossa.

Na Figura 40 apresentam-se os valores da macrotextura medida com o ensaio de Mancha de Areia na trilha de roda direita (TRD) do segmento experimental II.

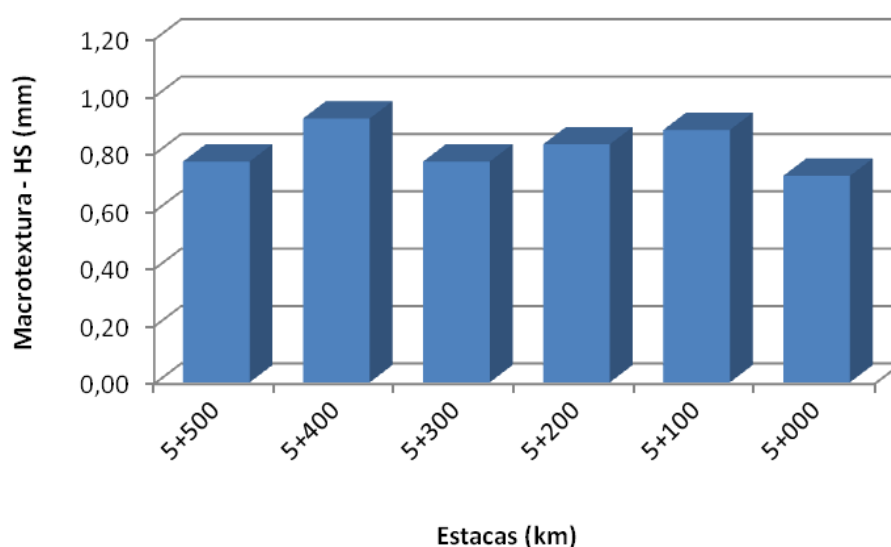


Figura 40. Medidas da macrotextura na TRD do segmento II

Conforme pode ser observado, a macrotextura superficial do pavimento monitorado foi classificada na faixa de média a grossa.

Na Figura 41 apresentam-se os valores da microtextura medida com o ensaio de Pêndulo Britânico na trilha de roda direita (TRD) e na Figura 42 a microtextura da trilha esquerda (TRE) do segmento I.

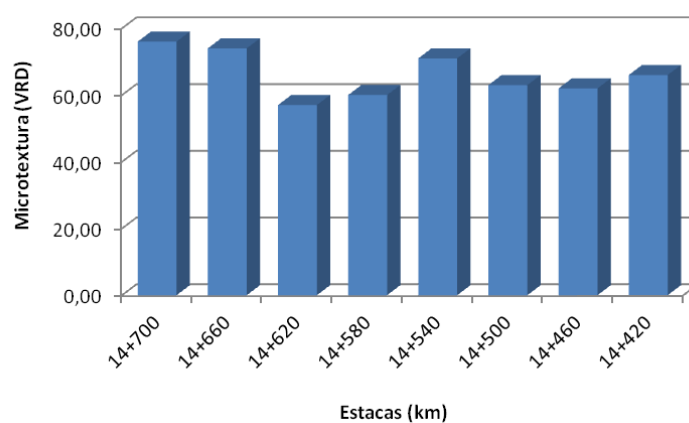


Figura 41. Medidas da microtextura na TRD do segmento I

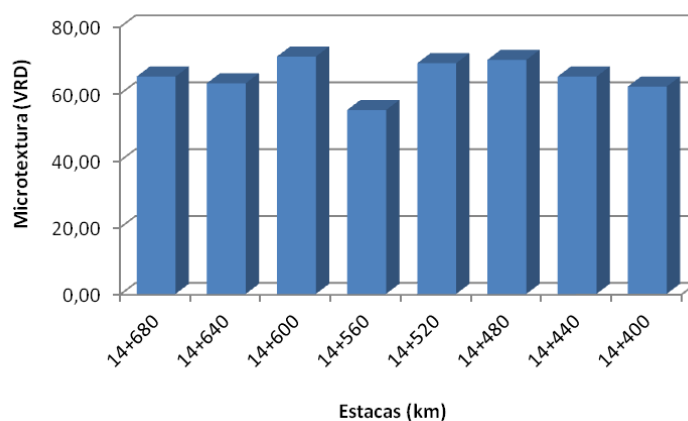


Figura 42. Medidas da microtextura na TRE do segmento I

Conforme pode ser observado, a microtextura superficial do pavimento monitorado foi classificada na faixa de rugosa.

4.3 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS CLIMÁTICOS

Embora não se tenha obtido sucesso inicialmente na ideia de construir um pavimento com a mesma estrutura da rodovia no acostamento para avaliar isoladamente os efeitos climáticos, ou seja, sem os efeitos do tráfego, recorreu-se a modelos de previsão para avaliar-se a difusão de calor no interior das camadas do pavimento e o efeito da variação de temperatura no MR da mistura asfáltica mês a mês. A expectativa é que agora com a inclusão do segmento experimental III consiga se observar em campo os efeitos climáticos no pavimento, sem a ação do tráfego.

4.3.1. Análise da Precipitação Mensal Média

Conforme as informações obtidas do Banco de dados Climático do Brasil (Embrapa, 2011), é possível gerar o balanço e o extrato hídrico mensal, conforme Figuras 43 e 44.

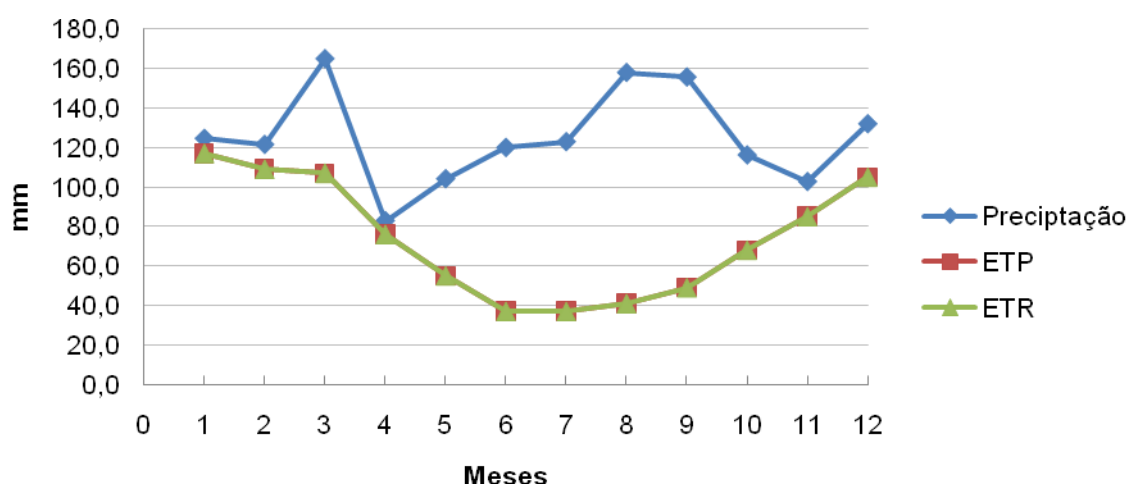


Figura 43. Balanço hídrico mensal

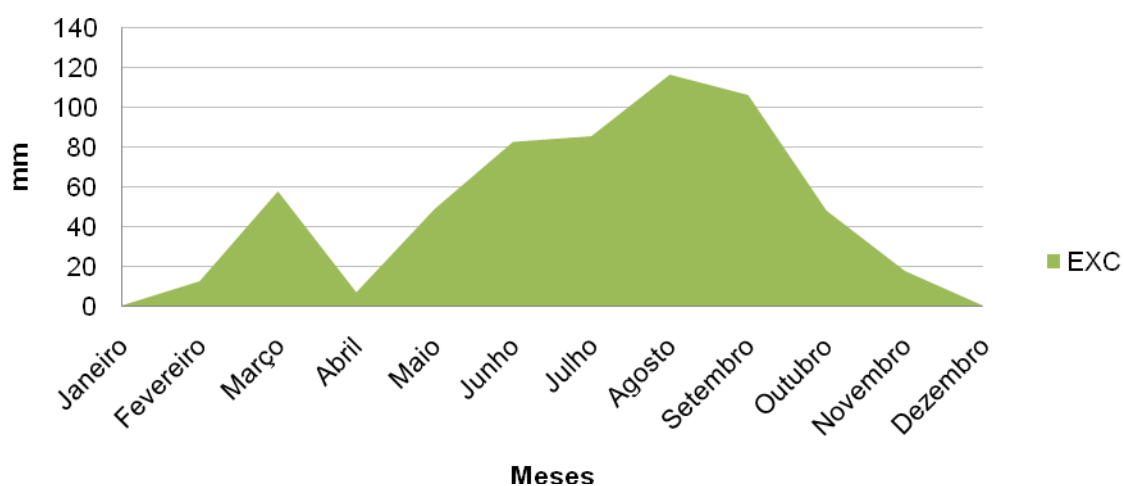


Figura 44. Extrato do balanço hídrico mensal

Conforme apresentado nas Figuras anteriores, percebe-se que a precipitação ao longo do ano é sempre superior à evapotranspiração (ETP) e à taxa efetiva de evapotranspiração (ETR), resultando assim sempre em um excedente de precipitação pluviométrica, principalmente no mês de agosto.

4.3.2. Difusão de Calor nas Camadas do Pavimento

Recorrendo-se aos modelos do M-E PDG, foi possível analisar a difusão de calor nas camadas internas do pavimento estudado. Na Tabela 24 apresentam-se as

temperaturas médias no interior de cada camada constituinte do pavimento com base na temperatura ambiente média de cada mês.

Tabela 24. Temperatura média (°C) no interior de cada camada do pavimento conforme a temperatura ambiente média de cada mês

Mês	Superfície	Revestimento Asfáltico	Brita Graduada	Macadame Seco	Reforço com Areia	Subleito
Janeiro	22,90	22,90	22,93	22,93	22,95	22,95
Fevereiro	23,30	23,30	23,30	23,33	23,33	23,33
Março	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60
Abril	20,10	20,10	20,10	20,08	20,08	20,08
Maio	17,50	17,50	17,50	17,48	17,48	17,48
Junho	15,00	15,00	15,00	14,98	14,98	14,98
Julho	14,80	14,80	14,80	14,78	14,78	14,78
Agosto	15,20	15,20	15,20	15,20	15,22	15,22
Setembro	16,30	16,30	16,32	16,32	16,32	16,32
Outubro	18,20	18,20	18,22	18,22	18,24	18,24
Novembro	20,00	20,00	20,02	20,05	20,07	20,07
Dezembro	21,40	21,40	21,40	21,42	21,45	21,45

Conforme apontam os modelos de difusão de calor do M-E PDG para estimar a temperatura média no interior de cada camada, e pelo o que se percebe na Tabela 24, a variação térmica de uma camada para a outra é muito pequena e até mesmo em alguns casos inexistente.

4.4 PREVISÃO DO DESEMPENHO

Devido ao atraso na construção dos trechos que terão seus desempenhos acompanhados, optou-se por utilizar dados de caracterização e propriedades obtidas em levantamentos realizados pouco após a execução do primeiro segmento experimental para prever o desempenho destes pavimentos. Essas informações tornaram-se dados de entrada em *softwares* que permitem estimar o desempenho de pavimentos. Assim, utilizaram-se o SISPAV e o M-EPDG para analisar a evolução de parâmetros como Irregularidade, Afundamentos nas Trilhas de Roda e Trincamentos.

4.4.1. Dano Acumulado Devido à Fadiga do Revestimento

Analisando o dano acumulado devido à fadiga na base do revestimento asfáltico, notou-se uma grande diferença entre as previsões com o SISPAV e o MEPDG. Conforme mostrado na Figura 45, o modelo de previsão de desempenho incluído no software SISPAV estima Danos Acumulados por Fadiga muito superiores ao previstos pelo M-EPDG.

A confrontação dessas previsões com o histórico de evolução de trincas no pavimento da BR-290/RS e em outros pavimentos semelhantes de rodovias do Sul do País, faz pensar que a evolução do Dano por Trincamento prevista pelo M-EPDG seja mais confiável. A taxa de crescimento do Dano é de aproximadamente 10% ao ano, valor esse coerente com o que se tem observado em pavimentos semelhantes ao do trecho experimental.

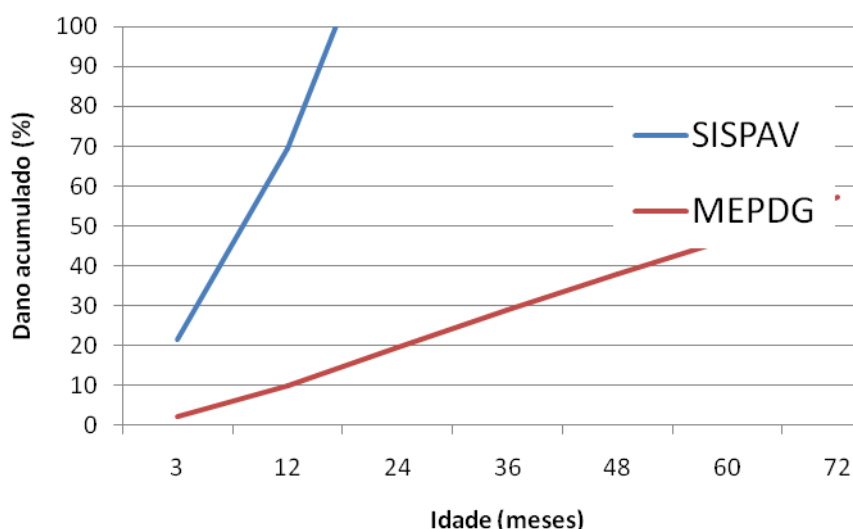


Figura 45. Dano acumulado devido à fadiga do revestimento

Observa-se, contudo, que mesmo a taxa de crescimento de Dano por Fadiga prevista pelo M-EPDG é muito elevada, o que atesta a agressividade do tráfego que solicita o pavimento em foco.

4.4.2. Variação do MR no Primeiro Ano de Serviço

Ainda utilizando o M-EPDG foi possível prever o comportamento do MR das camadas do pavimento para o primeiro ano de serviço. Nessa análise o *software* leva em consideração os efeitos climáticos (precipitação e temperatura) e do tráfego (espectro de carga). Na Tabela 25, observa-se o comportamento sazonal do MR das distintas camadas de materiais que constituem o pavimento estudado.

Tabela 25. Variação do MR nas camadas do pavimento devido a aspectos climáticos e tráfego de veículos

Mês	Revestimento Asfáltico	Brita Graduada	Macadame Seco	Reforço com Areia	Subleito
Dezembro	3000	270	320	50	40
Janeiro	3138	267	316	49	40
Fevereiro	3076	263	312	48	40
Março	3448	261	309	47	40
Abril	3925	261	309	47	40
Maio	4730	256	304	45	40
Junho	4933	254	301	44	39
Julho	5340	254	299	43	38
Agosto	5396	254	300	43	37
Setembro	4780	255	301	43	37
Outubro	4168	252	298	42	36
Novembro	3789	254	299	42	36

A partir da Tabela 25, constata-se que o MR da camada asfáltica aumenta nos períodos mais frios (inverno), conforme o modelo de Salomão Pinto prevê o MR está diretamente ligado com a temperatura, e apresenta um comportamento quase cíclico durante o ano, conseguindo retornar quase ao valor original da sua execução. Já nas camadas granulares, percebe-se que o valor de MR vai, em geral, reduzindo com o passar do tempo, isso pode ser justificável pela ação da água nessas camadas que causa descompactação desses materiais, não tendo como os mesmos retornarem a sua compactação original e, portanto, apresentam um comportamento de MR decrescente ao longo do ano.

4.4.3. Efeito da Variação de Umidade na Camada de Base

Para verificar o efeito da variação de umidade na camada de brita graduada, utilizou-se novamente o *software* Everstress para obter a previsão de deflexão e deformações no topo do revestimento asfáltico variando o grau de saturação da brita graduada.

Para tanto realizou-se em laboratório ensaios triaxiais cíclicos para determinação do MR variando a saturação (S) do CP. Logo após alimentou-se o Everstress com os modelos de MR obtidos nos ensaios e verificou-se qual a deflexão estimada para a estrutura e com a deformação estimou-se a vida de fadiga. Os resultados apresentam-se na Tabela 26.

Tabela 26. Efeito da variação de umidade na base na vida de fadiga do revestimento asfáltico

CP	S (%)	K1	K2	Deflexão (0,01mm)	Vida de fadiga (N)
1	88	80	0,72	62	$1,2 \times 10^6$
2	62	105	0,71	59	$1,5 \times 10^6$
3	43	102	0,71	59	$1,5 \times 10^6$

Conforme se observa na Tabela 26, devido ao acréscimo de saturação do CP, a vida de fadiga do pavimento reduziu em 20%, enquanto que na redução da saturação do CP, não foi observado variação significativa na vida de fadiga. Isso demonstra que quando a umidade está no ramo úmido da curva de compactação os efeitos no pavimento são mais danosos do que quando está no ramo seco da mesma.

4.4.4. Envelhecimento do Ligante Asfáltico

Na Tabela 27 são apresentados os resultados da série de ensaios realizados para a verificação da influência do processo de envelhecimento sobre as propriedades fundamentais do ligante modificado (CAP 60/85 E) utilizado neste estudo.

Tabela 27. Resultados de ensaios de caracterização antes e após processo de envelhecimento em estufa RTFOT

Densidade (g/cm ³)	Ponto de Amolecimento (°C)			Penetração (dmm)			Variação de Massa (%)	
Antes	Antes	Depois	Adm.	Antes	Depois	Adm.	Depois	Adm.
1,014	63,50	68,50	-5 a +7°	47,2	40,5	PR* ≥60%	-0,0621	0,5%

*PR= Penetração Retida mínima exigida após processo de envelhecimento

A seguir na Tabela 28 e Figura são apresentados os valores de viscosidade da amostra de ligante realizados antes da simulação de envelhecimento e depois de submetido ao envelhecimento em estufa RTFOT.

Tabela 28. Viscosidade Rotacional antes e após envelhecimento RTFOT CAP 60/85 E (85min)

SP 21 Antes				
Temp.(°C)	135	155	175	195
Visc (Pa.s)	1,390	0,598	0,270	0,134
Rpm	20	20	20	50
Torque (%)	53,5	22,4	11	13,9
SP 21 Depois				
Temp.(°C)	135	155	175	195
Visc (Pa.s)	1,695	0,663	0,313	0,153
Rpm	20	20	20	50
Torque (%)	67,8	26,5	12,5	15,3

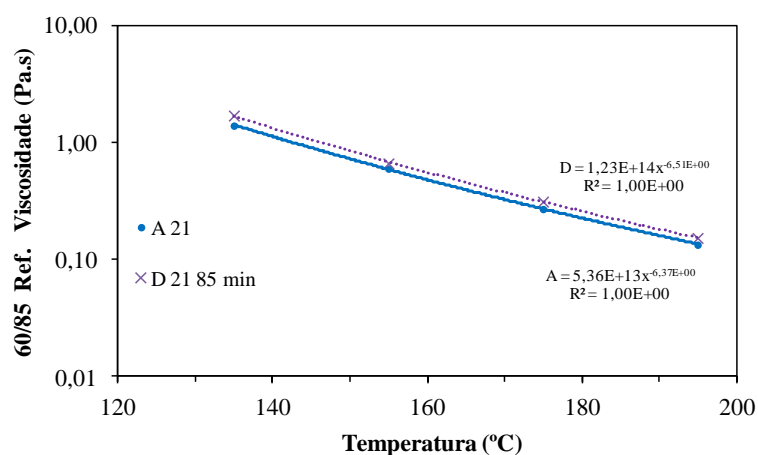


Figura 46. Viscosidade Rotacional antes e após envelhecimento RTFOT CAP 60/85

Os valores de viscosidade foram obtidos através de um viscosímetro rotacional nas temperaturas de 135°C, 155°C, 175°C e 195°C. No gráfico a seguir são apresentados os valores do índice de envelhecimento (Aging Index).

Os resultados apresentados na Figura correspondem à variação do índice de envelhecimento após um período de 85 minutos para ligante modificado por polímero.

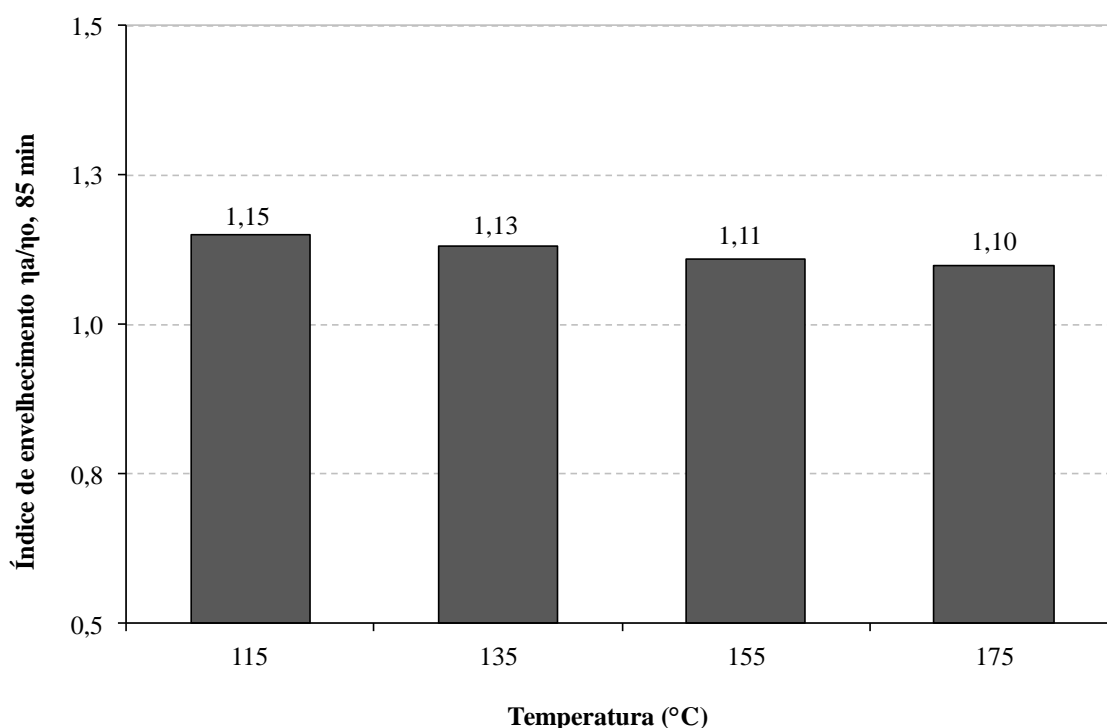


Figura 47. Índice de envelhecimento CAP 60/85 E

Observa-se um leve decréscimo do índice com o aumento da temperatura de ensaio, o que demonstra que o material não apresenta características que o tornam muito suscetível à variação de temperatura.

5. MONITORAÇÃO DOS TRECHOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo apresentam-se os resultados do acompanhamento de aspectos estruturais e funcionais dos trechos experimentais estudados. Como o trecho experimental I, dentre os segmentos estudados, é o mais antigo a ter sido construído já é possível obter as primeiras linhas de tendências do desempenho desse trecho, enquanto que do outro segmento ainda não se pode ter muita confiabilidade nessa tendência inicial.

5.1 DESEMPENHO DO TRECHO EXPERIMENTAL I (km 14+700 ao km 14+400)

5.1.1 Avaliação Estrutural - Deflexão

A análise da avaliação estrutural para o trecho experimental I consiste em verificar o comportamento defletométrico deste pavimento com o passar do tempo. Desse modo, mostram-se graficamente as leituras de deflexão com a Viga Benkelman para os levantamentos já realizados.

Na Figura 48, observa-se que as primeiras medições de deflexão apresentaram valores mais elevados que as demais medidas posteriores. Entretanto, chama-se a atenção que as leituras das medidas de deflexão no mês 12 (um ano que o segmento ficou exposto ao tráfego) é maior do que no mês 6, isso se deve, em parte, pelo fato do mês 6 ter ocorrido na estação de inverno, enquanto os meses 0 e 12 ocorreram no verão.

Com essa ressalva, constata-se a importância da temperatura do revestimento asfáltico na hora da medida deflectométrica, pois é de conhecimento geral que em elevadas temperaturas a massa asfáltica passa a um estado mais viscoso do que sólido. Isso faz com que as deflexões no pavimento sejam mais elevadas e a estrutura fique mais sujeita a deformações permanentes.

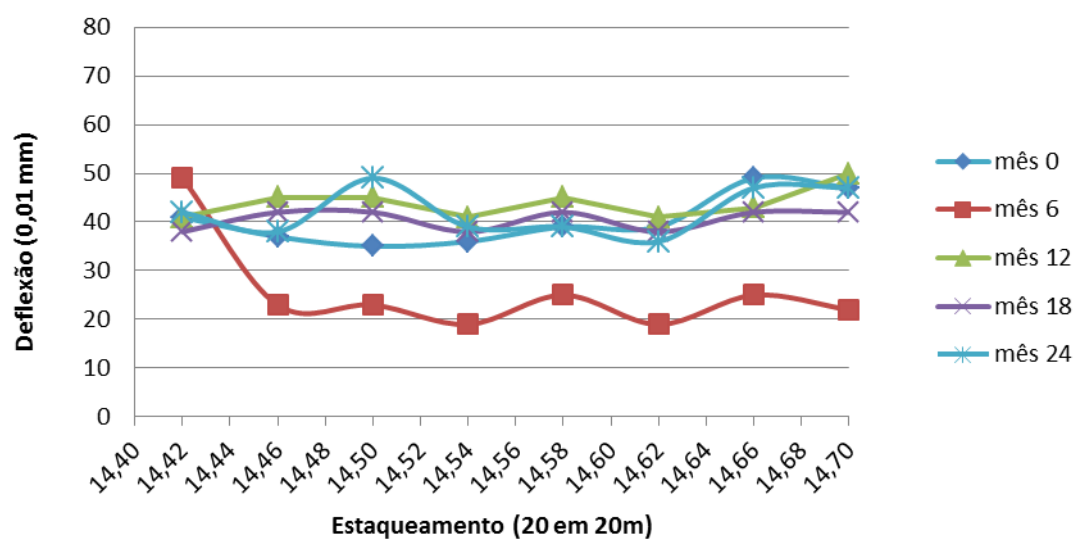


Figura 48. Comparação da deflexão na TRD do trecho I em diferentes meses

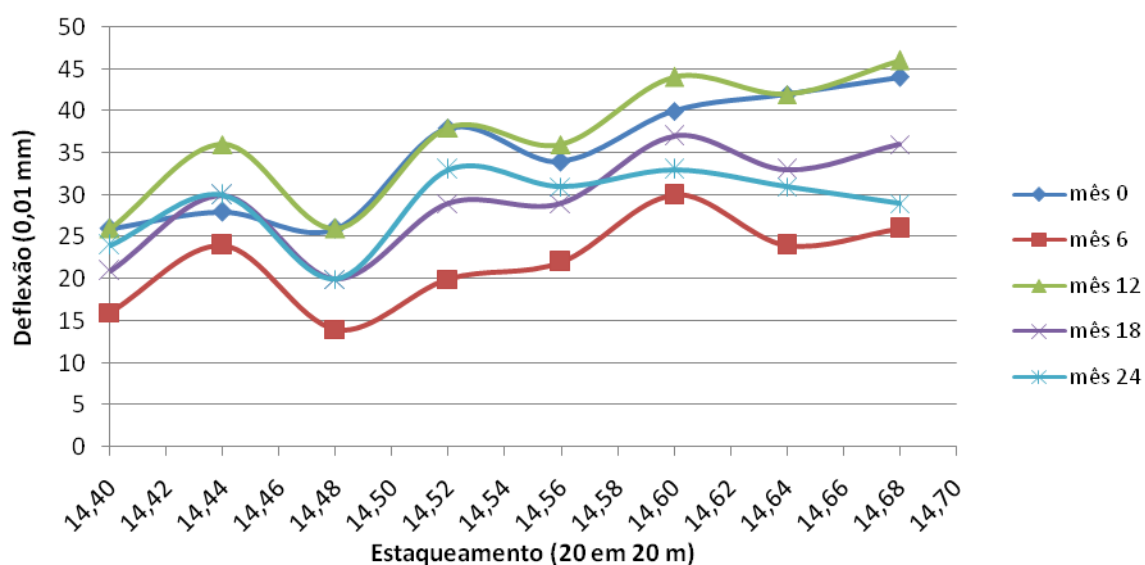


Figura 49. Comparação da deflexão na TRE do trecho I em diferentes meses

Constatado que é bem provável que as medidas deflectométricas sofreram interferência da temperatura, foram convertidas as leituras obtidas para valores teóricos em temperatura de 25° C. Nas Figuras 50 e 51 consta a comparação para as cinco épocas analisadas.

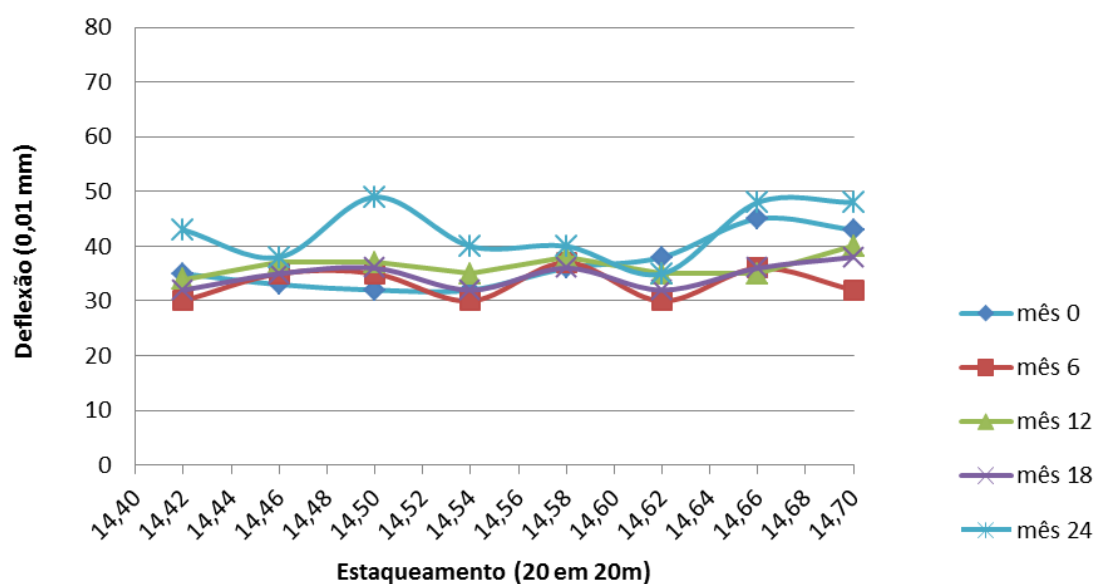


Figura 50. Comparação da deflexão na TRD do trecho I padronizado para T=25° C

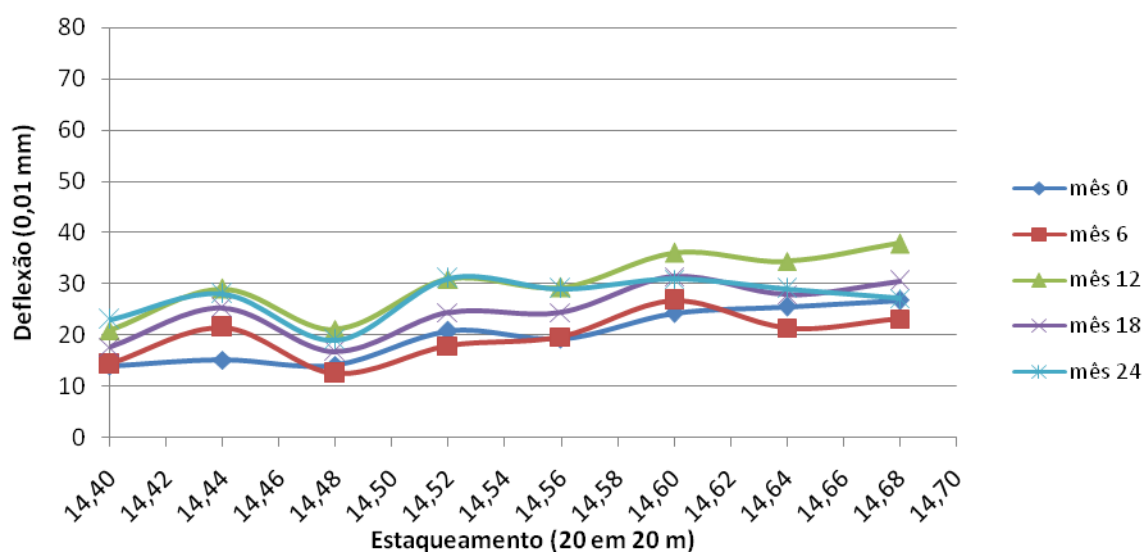


Figura 51. Comparação da deflexão na TRE do trecho I padronizado para T=25° C

Observando as Figuras 50 e 51, constata-se que, padronizando a medida de deflexão para a temperatura de 25°C, o comportamento deflectométrico do segmento experimental I foi, em geral, de apresentar deflexões maiores com o passar do tempo.

Para visualizar melhor essa tendência, optou-se por trabalhar com a evolução das deflexões médias em função do tempo.

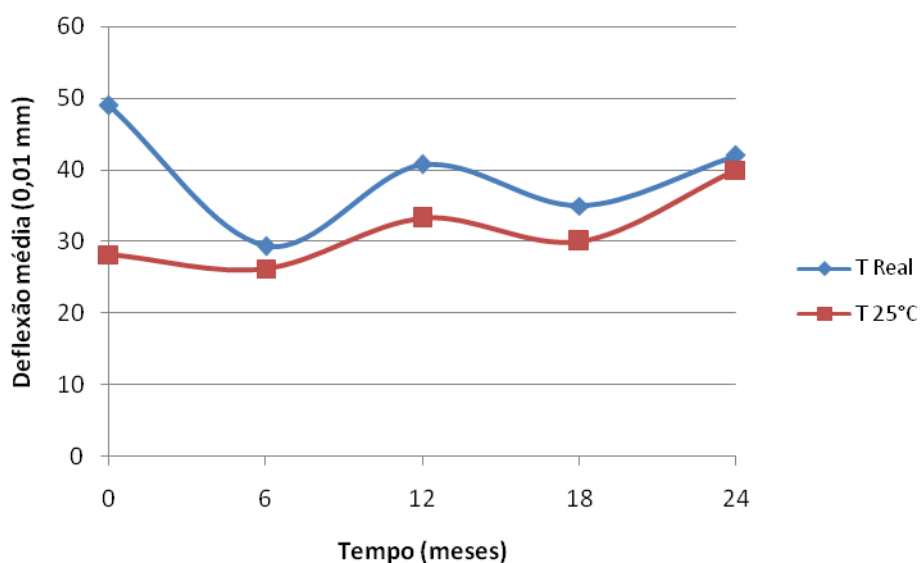


Figura 52. Evolução da deflexão média no trecho experimental I

Pela Figura anterior fica claro que padronizando a temperatura em 25°C suaviza-se o efeito da estação do ano na medida de deflexão do pavimento, evidenciando a tendência de aumento da deflexão com o passar do tempo. Tal efeito pode ser detectado comparando a leitura deflectométrica no mês 6 com a nos outros meses na temperatura real, lembrando que o mês 6 coincidiu com a época de inverno.

5.1.2 Avaliação Estrutural - Deformações permanentes (afundamentos)

Ainda como avaliação estrutural do pavimento experimental monitorado no trecho I acompanhou-se as medidas de afundamentos em trilhas de rodas (ATR) em ambos os bordos. Na Tabela 29 apresentam-se os valores das trilhas de rodas medidas após 6, 12 e 24 meses da execução do pavimento.

Tabela 29. Afundamentos em trilhas de rodas após 6, 12 e 24 meses

Km	ATR após 6 meses		ATR após 12 meses		ATR após 24 meses	
	TRI (mm)	TRE (mm)	TRI (mm)	TRI (mm)	TRI (mm)	TRI (mm)
14+700	1	2	3	3	3	3
14+680	0	3	0	3	1	7
14+660	0	4	1	4	0	5
14+640	0	2	0	2	0	4
14+620	0	1	0	1	0	2
14+600	0	0	0	0	1	1
14+580	0	2	0	2	0	2
14+560	0	1	0	1	0	1
14+540	0	0	0	0	0	1
14+520	0	0	0	0	0	1
14+500	0	1	0	1	0	1
14+480	0	0	0	0	1	3
14+460	0	1	0	1	0	4
14+440	0	1	0	1	0	1
14+440	0	0	1	1	1	1
14+420	0	0	0	0	1	0
Média	0	1	0	1	0,5	2,5

Para uma melhor visualização, verificou-se a previsão da evolução do ATR com os resultados obtidos até o momento para a evolução do ATR medido em campo. Conforme pode se observar na Figura 52, a trilha de roda interna (TRI) ainda não apresenta afundamentos significativos, enquanto que a externa (TRE) já começa a apresentar afundamentos, porém ainda abaixo da previsão do M-EPDG.

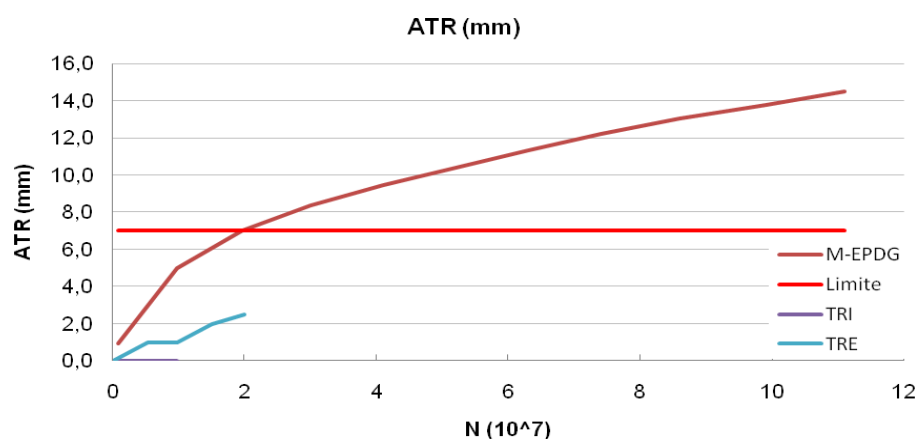


Figura 52. Evolução do ATR no trecho experimental I

5.1.3 Avaliação Funcional - Irregularidade Longitudinal (IRI) e Valor de Serventia Atual (VSA)

Durante a monitoração foram realizados levantamentos de irregularidade longitudinal durante o período do projeto e obteve-se a seguinte evolução do IRI ao longo desse tempo no trecho experimental I. Lembrando que a razão entre QI e IRI é 13.

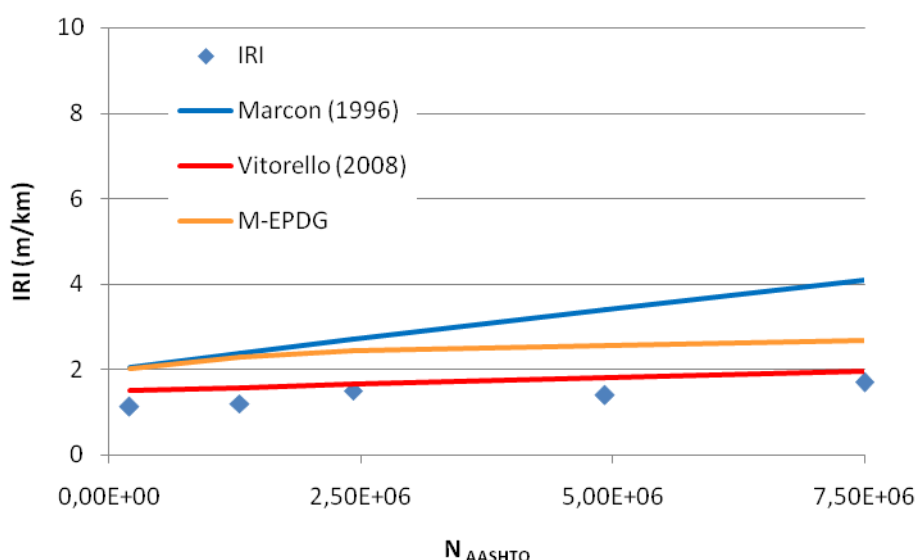


Figura 53. Evolução do IRI no trecho experimental I

Para fins de comparação, utilizaram-se as previsões de desempenho propostas por Marcon (1996) e Vitorello (2008), além da obtida no *software* M-EPDG. Conforme, observa-se na Figura 53, a previsão que melhor se adaptou aos dados medidos em campo foi a de Vitorello, pesquisa essa que foi realizada na mesma rodovia que é objeto deste estudo.

Quanto ao VSA, o valor atribuído logo na abertura foi de 5 e na última avaliação, realizada dois anos após a execução do pavimento, atribui-se o valor de 4,5. Portanto, o conceito do pavimento, em termos de VSA, é dado como ótimo.

5.1.4 Avaliação Funcional - Defeitos

Durante a monitoração não foram observados defeitos superficiais no trecho experimental I. A expectativa é que no próximo ano de existência do pavimento comecem a aparecer as primeiras fissuras.

5.1.5 Avaliação Funcional - Aderência pneu-pavimento

Quanto à aderência pneu-pavimento, o pavimento experimental não apresentou variação da macrotextura e nem da microtextura. Devido a granulometria aberta do revestimento asfáltico, a superfície do pavimento apresenta uma excelente aderência pneu-pavimento, conforme foi mostrado no capítulo 4.

5.2 DESEMPENHO DO TRECHO EXPERIMENTAL II (km 5+500 ao km 5+000)

5.2.1 Avaliação Estrutural - Deflexão

O trecho experimental II foi recentemente construído de modo que até o momento realizaram-se apenas três levantamentos das medidas deflectométricas dele. Dessa forma, apresentam-se nas Figuras a seguir as medidas de deflexão obtidas em cada estaca e na sequência as deflexões teóricas a uma temperatura padronizada de 25°C.

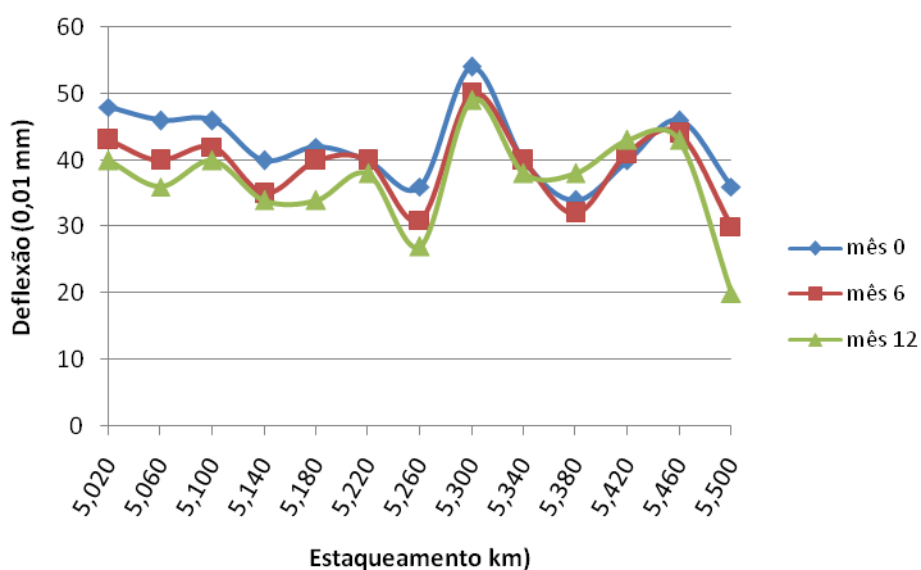


Figura 54. Comparação da deflexão na TRD do trecho II em diferente meses

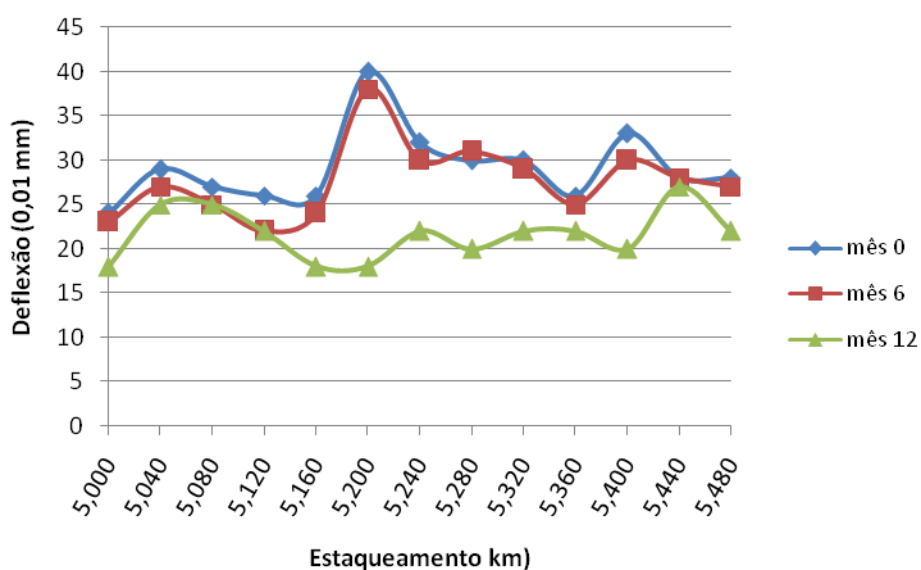


Figura 55. Comparação da deflexão na TRE do trecho II em diferentes meses

Constatado que é bem provável que as medidas deflectométricas sofreram interferência da temperatura, foram convertidas as leituras obtidas para valores teóricos em temperatura de 25° C. Nas Figuras 56 e 57 consta a comparação para as três épocas analisadas.

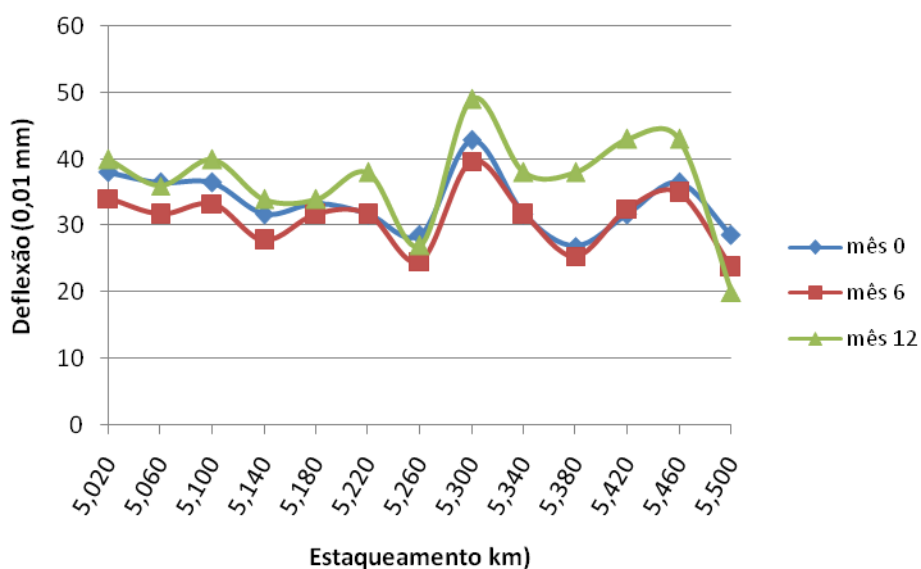


Figura 56. Comparação da deflexão na TRD do trecho II padronizado para T=25° C

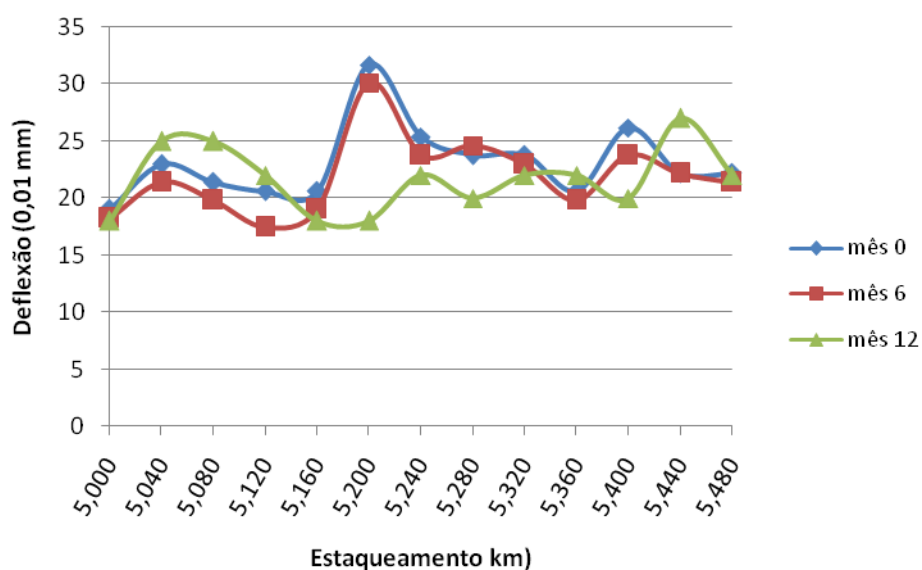


Figura 57. Comparação da deflexão na TRE do trecho II padronizado para T=25° C

Observando as Figuras 56 e 57, constata-se que padronizando a medida de deflexão para a temperatura de 25°C o comportamento deflectométrico do segmento experimental II foi, em geral, de apresentar um comportamento de consolidação da estrutura do pavimento, ou seja, uma leve redução das deflexões com o passar do tempo, seguido de um aumento da mesma. Para visualizar melhor essa tendência, optou-se por trabalhar com a evolução das deflexões médias em função do tempo.

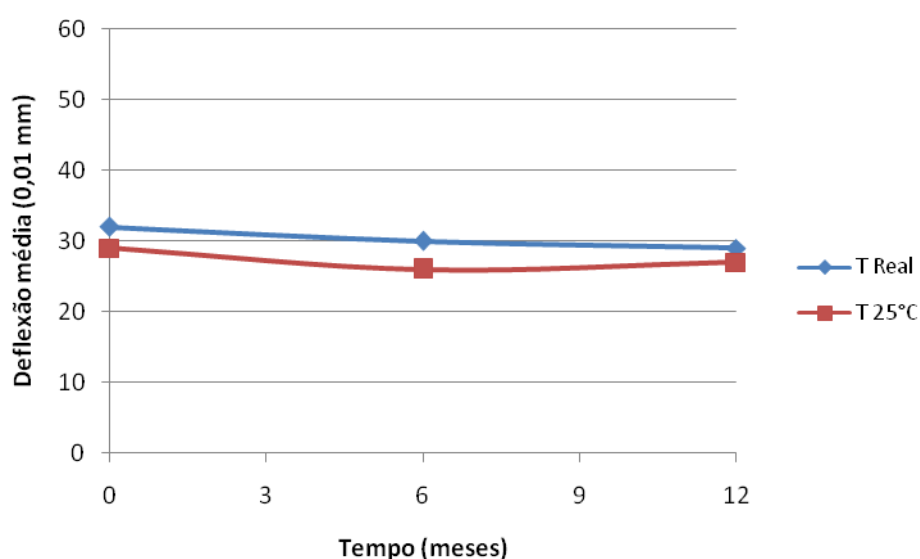


Figura 58. Evolução da deflexão média no trecho experimental II

Pela Figura anterior fica claro o comportamento de consolidação do pavimento já mencionado.

5.2.2 Avaliação Estrutural - Deformações permanentes (afundamentos)

Ainda como avaliação estrutural do pavimento experimental monitorado no trecho II acompanhou-se as medidas de afundamentos em trilhas de rodas (ATR) em ambos os bordos. Na Tabela 30 apresentam-se os valores das trilhas de rodas medidas após 6 e 12 meses da execução do pavimento.

Tabela 30. Afundamentos em trilhas de rodas após 6 e 12 meses

Km	ATR após 6 meses		ATR após 12 meses	
	TRI (mm)	TRE (mm)	TRI (mm)	TRI (mm)
5+500	0	0	0	1
5+480	0	0	0	0
5+460	0	2	1	3
5+440	0	0	0	0
5+420	0	1	0	1
5+400	0	0	0	0
5+380	0	0	0	0
5+360	0	0	0	1
5+340	0	0	0	0
5+320	0	0	0	0
5+300	1	1	1	1
5+280	0	0	0	0
5+260	0	1	0	1
5+240	0	0	0	1
5+220	0	0	0	0
5+200	0	0	0	0
5+180	1	0	1	0
5+160	0	0	0	0
5+140	0	0	1	1
5+120	0	0	0	0
5+100	0	1	0	1
5+080	0	1	0	1
5+060	1	0	1	0
5+040	0	0	0	0
5+020	0	0	0	0

Continuação da Tabela 30				
Km	ATR após 6 meses	ATR após 12 meses		
	TRI (mm)	TRE (mm)	TRI (mm)	TRI (mm)
Média	0	0	0	0,5

Conforme se observa na Tabela 30, praticamente não foram observados afundamentos plásticos no segmento experimental II.

5.2.3 Avaliação Funcional - Irregularidade Longitudinal (IRI) e Valor de Serventia Atual (VSA)

Durante a monitoração foram realizados levantamentos de irregularidade longitudinal durante o período do projeto e obteve-se a seguinte evolução do IRI ao longo desse tempo no trecho experimental II. Lembrando que a razão entre QI e IRI é 13.

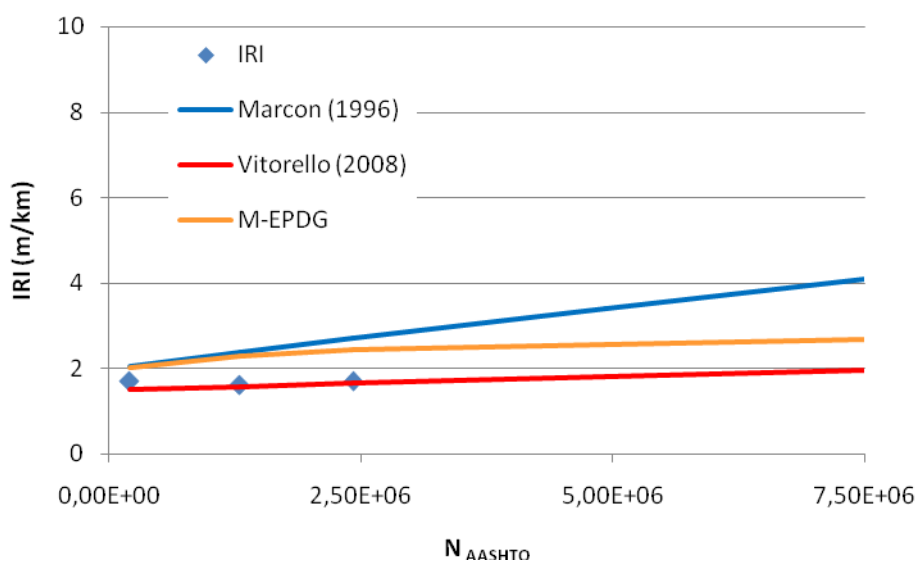


Figura 59. Evolução do IRI no trecho experimental II

Para fins de comparação, utilizaram-se as previsões de desempenho propostas por Marcon (1996) e Vitorello (2008), além da obtida no *software* M-EPDG. Conforme, observa-se na Figura 59, a previsão que melhor se adaptou aos dados medidos em campo foi a de Vitorello, pesquisa essa que foi realizada na mesma rodovia que é objeto deste estudo.

Quanto ao VSA, o valor atribuído logo na abertura foi de 4,5 e na última avaliação, realizada dois anos após a execução do pavimento, manteve-se o mesmo valor. Portanto, o conceito do pavimento, em termos de VSA, é dado como ótimo.

5.2.4 Avaliação Funcional - Defeitos

Durante a monitoração não foram observados defeitos superficiais no trecho experimental II. A expectativa é que somente apareçam defeitos superficiais nos próximos dois anos de existência do pavimento, conforme a experiência do trecho I.

5.2.5 Avaliação Funcional - Aderência pneu-pavimento

Quanto à aderência pneu-pavimento, o pavimento experimental não apresentou variação da macrotextura e nem da microtextura. Devido a granulometria aberta do revestimento asfáltica, a superfície do pavimento apresenta uma excelente aderência pneu-pavimento, conforme foi mostrado no capítulo 4.

5.3 DESEMPENHO DO TRECHO EXPERIMENTAL III (km 4+960 ao km 4+860)

5.3.1 Avaliação Estrutural - Deflexão

Igualmente ao trecho experimental II, o trecho III foi recentemente construído. O objetivo desse trecho é servir como referência estrutural para verificar isoladamente o efeito climático, pois, como é um trecho executado no acostamento, o seu tráfego pode ser desconsiderado. Dessa forma, a seguir, apresenta-se apenas as medidas de deflexão obtidas em cada estaca logo após a sua execução e no mesmo gráfico as deflexões teóricas a uma temperatura padronizada de 25°C.

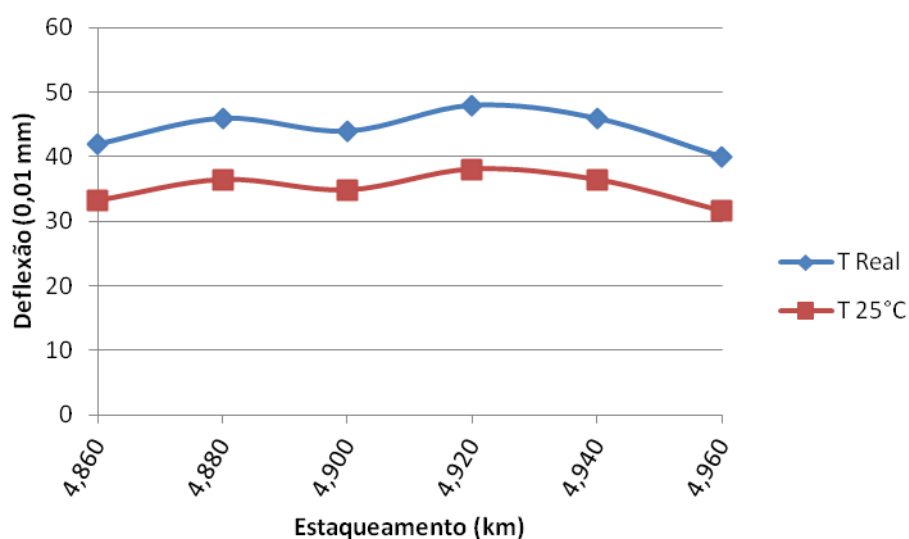


Figura 60. Medidas de deflexão real e teóricas à 25°C no trecho III

Como o Trecho experimental III é um acostamento, percebe-se que o efeito dos bordos não apresentarem um bom confinamento se refletiu integralmente neste segmento, pois a medida defletoométrica foi realizada próxima ao bordo externo da faixa de rolamento.

5.4 DESEMPENHO DOS TRECHOS EXPERIMENTAIS CONSIDERANDO O EFEITO DA VARIAÇÃO DE CARGA

Para avaliar o efeito da variação de carga no pavimento, realizaram-se medidas defletoométricas nos trechos experimentais com a variação da carga por eixo de 8,2 tf, 10 tf e 12 tf. Nas Figuras 61, 62 e 63 apresentam-se a variação das deflexões em função do aumento de carga por eixo do veículo.

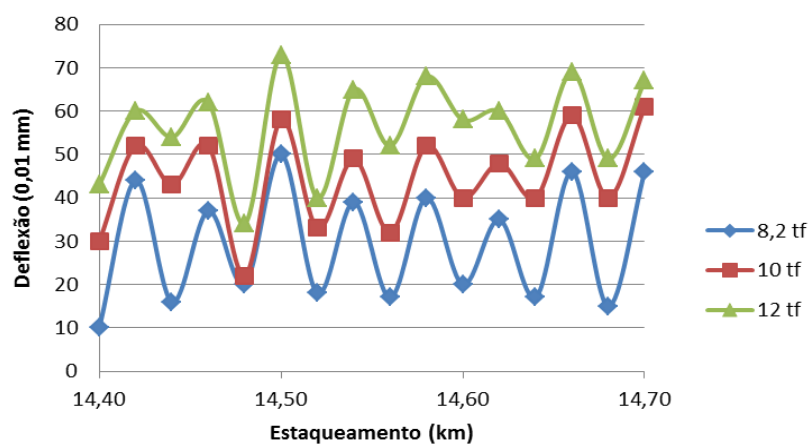


Figura 61. Efeito da variação de carga na deflexão do pavimento experimental I

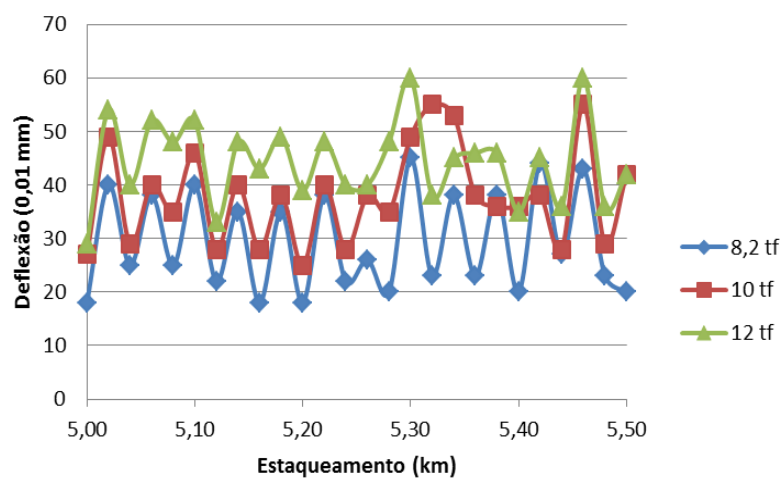


Figura 62. Efeito da variação de carga na deflexão do pavimento experimental II

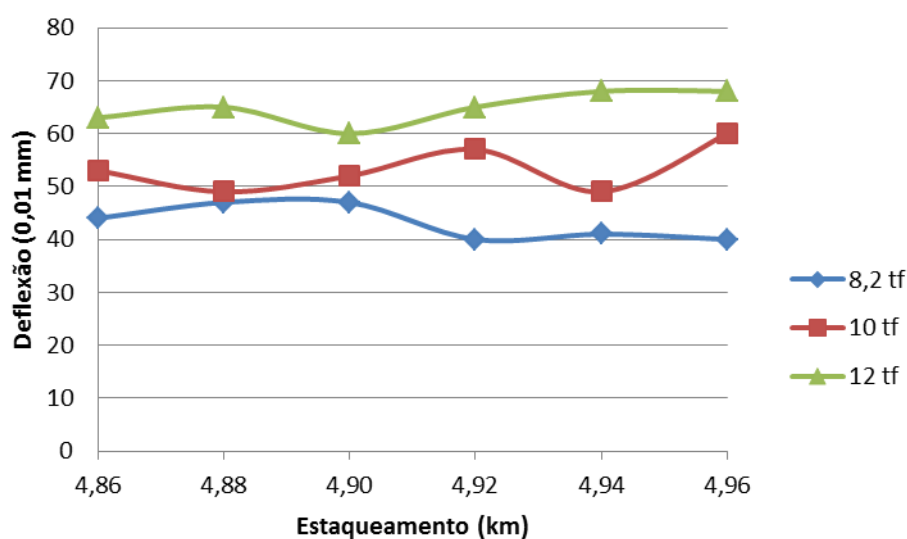


Figura 63. Efeito da variação de carga na deflexão do pavimento experimental III

Em ambas as Figuras, percebe-se, como esperado, o aumento da deflexão no topo do revestimento do pavimento com o aumento da carga em um eixo simples de rodado duplo, comumente utilizado para avaliações deflectométricas.

Na sequência, aplicaram-se conceitos estatísticos para validar os dados e, quando era o caso, excluir valores discrepantes dos demais, para a finalidade de modelar previsão de deflexão em função da carga do eixo de um veículo. As análises conduziram aos modelos de previsão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31. Modelos de previsão de deflexão do pavimento em função da carga

Trecho	Modelo	R ²
I	Def = 10,25 + 3,78 C _{eixo}	0,20
II	Def = -5,28 + 4,17 C _{eixo}	0,39
III	Def = 24,71 + 3,29 C _{eixo}	0,88
Todos	Def = 1,27 + 4,06 C _{eixo}	0,24

Nas Figuras 64 e 65, apresentam-se os resultados do modelo considerando os dados de todos os trechos experimentais.

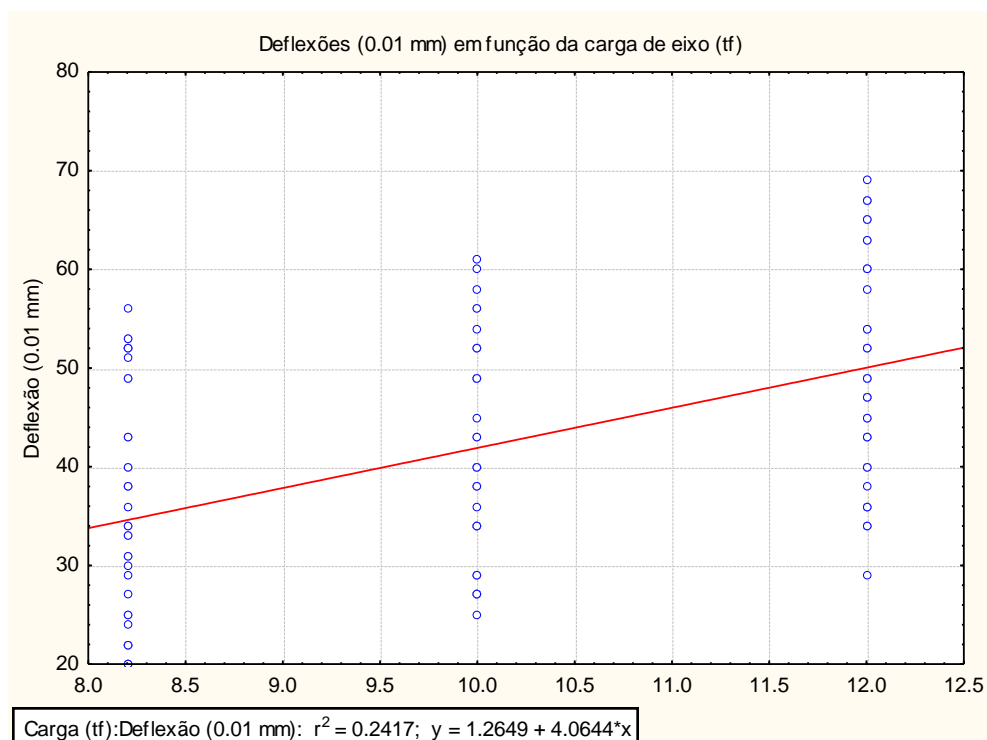


Figura 64. Modelo de previsão da deflexão em função da carga por eixo do veículo

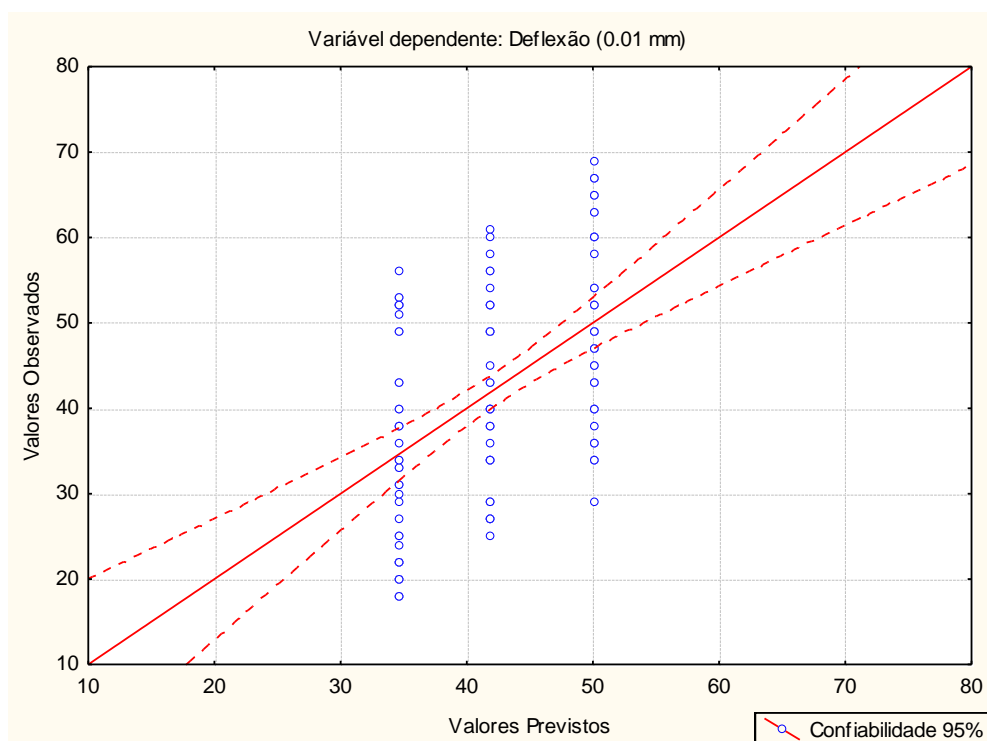


Figura 65. Gráfico comparativo dos valores observados (medidos) e previstos pelo modelo desenvolvido em função do carregamento do eixo

O desenvolvimento desse modelo de previsão da deflexão no topo do revestimento asfáltico em função da carga do eixo é de grande valia para pesquisas futuras, pois permitirá realizar a avaliação do excesso de carga por eixo na vida útil do pavimento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grupo de pesquisa do LAPAV acredita que as atividades desenvolvidas foram realizadas de forma satisfatória e que o andamento da pesquisa evoluiu como esperado, uma vez que se avançou de forma significativa no ponto considerado mais crítico que é a execução do trecho experimental e já inicia-se a formação de um banco de dados que permite entender o comportamento da evolução de diversos parâmetros utilizados para avaliação de pavimentos.

Uma vez concluída a construção de todos os trechos experimentais, a pesquisa visou, principalmente, verificar, o desempenho do pavimento tanto em termos estruturais como funcionais. Além de realizar pesquisas paralelas para verificar efeitos de outros elementos isoladamente, como a variação de umidade e o efeito da carga, por exemplo.

Salienta-se que a utilização do SISPAV está em fase experimental, pois um dos propósitos da pesquisa é justamente obter o Fator Laboratório-Campo para calibrar o software. Portanto, os resultados obtidos ainda estão em análise do grupo de pesquisa e como alternativa utilizou-se também o M-EPDG, que tem se revelado de grande valia para estimar a previsão de pavimentos.

Mesmo reconhecendo todo o esforço realizado por muitos pesquisadores no desenvolvimento dos Modelos de Previsão de Desempenho incluídos nos softwares, é indiscutível que é imperativa a calibração dos mesmos, de forma a poder-se no futuro estimar com um nível de acurácia o desempenho dos pavimentos, permitindo a melhoria dos Sistemas de Gerência de Pavimentos.

Salienta-se, para reforçar a ideia acima, que no desenvolvimento dos Modelos de Previsão de Desempenho incluídos no M-EPDG, centenas de pesquisadores de muitas Universidades e Departamentos de Transportes dos Estados Unidos trabalharam de forma coordenada e incansável durante décadas. Esse trabalho, que consistiu no acompanhamento sistemático do desempenho de pavimentos das mais variadas regiões daquele País (e do Canadá) por longos anos, ainda é complementado com

pesquisas acadêmicas aplicadas, resultando no aperfeiçoamento dos Modelos. Não resta dúvida que esse é o caminho a ser trilhado no Brasil. Daí a importância da continuidade deste Projeto de Pesquisa.

Um importante Banco de Dados com informações da construção do pavimento já foi montado. Nos anos vindouros, contando com a parceria com a CONCEPA e o apoio indispensável da ANTT, o LAPAV continuará inserido nesse grande esforço nacional que busca, em síntese, a construção de pavimentos mais duráveis, com melhor relação benefício/custo e um maior nível de satisfação por parte dos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, (2002). Guide for Design of Pavement Structures. Washington DC: American Association of State Highways Officials.
- Casagrande, F.L. (2003). Estudo da Influência do teor de finos na Condutividade Hidráulica e Deformidade Elástica de Britas. Dissertação de Mestrado, PPGE/UFRGS, Porto Alegre, Brasil. 144 f.
- Bernucci, L.B.; Motta, L.M.G.; Ceratti, J.A.P.; Soares, J.B., (2007). *Pavimentação Asfáltica Formação Básica Para Engenheiros*. Rio de Janeiro : PetRoBRAS: ABedA, 2006. 504 f.
- Brown, S.F. (1996). Thirty-sixth Rankine Lecture: Soil Mechanics in pavement engineering. *Geotechnique*, 46(3), p. 381-426.
- DNIT, (2006). Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro: IPR. 310p.
- Franco, F.A.C.P (2007). Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SISPAV. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Motta, L.M.G (1991). Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis, Critérios de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- PETERLINI, P. S. (2006). Cargas por eixo e fatores de veículos obtidos em rodovias federais concessionadas do estado do Paraná. 2006. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. 192p.
- REDE (2010). Manual de Execução de Trechos Monitorados. Rede Temática de Asfalto, Petrobrás, Rio de Janeiro, Brasil.

EQUIPE EXECUTORA

A pesquisa está sendo desenvolvida pelo Laboratório de Pavimentação (LAPAV) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que tem como coordenador o Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti.

Participação de pesquisadores do LAPAV:

Eng°. Civil Jorge Augusto Pereira Ceratti (PhD);

Eng°. Civil Washington Peres Núñez (PhD);

Eng^a. Civil Luciana Rohde (PhD);

Eng°. Civil João Rodrigo Guerreiro Mattos (MSc);

Eng°. Civil Matheus Lemos Nogueira (MSc).

Participação de representantes da CONCEPA:

Eng°. MSc Thiago Vitorello;

Eng°. MSc Fábio Hirsch;

Eng°. Msc Daniel Victorino;

Eng°. Fernando Cronst.

Eng° Eduardo Meirelles

Este Relatório foi redigido pelo Prof. Washington Peres Núñez e pelo doutorando João Rodrigo Guerreiro Mattos.

REDE TEMÁTICA DE ASFALTO

MANUAL DE EXECUÇÃO DE TRECHOS MONITORADOS

PRÉ-EXECUÇÃO	AMOSTRAS	
	MATERIAIS	
	ESTRUTURA	
EXECUÇÃO	APLICAÇÃO	
PÓS-EXECUÇÃO	AValiação	

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. ETAPA 0 - INFORMAÇÕES PRELIMINARES	4
1.1. INSTITUIÇÃO EXECUTORA	5
1.2. EMPRESA ou ÓRGÃO PARCEIRO	5
1.3. INSTITUIÇÃO PARCEIRA	5
1.4. DADOS PRELIMINARES	5
1.4.1. Informações Gerais	6
1.4.2. Tráfego	9
1.4.2.1. Levantamento detalhado dos eixos	9
1.4.2.2. Número N	13
1.4.3. Características Geométricas	14
1.4.4. Clima	14
1.4.5. Georreferenciamento	15
1.4.6. Avaliação das Condições do Pavimento Existente	15
1.4.6.1. Metodologia para Levantamento de Defeitos dos Pavimentos	23
1.4.6.2. Avaliação da macrotextura e microtextura	27
1.4.6.3. Avaliação estrutural do pavimento	31
1.5. DEFINIÇÃO FINAL DO TRECHO MONITORADO	35
2. ETAPA 1 - PRÉ-EXECUÇÃO	37
2.1. AMOSTRAS	37
2.1.1. Asfalto - ASFA	39
2.1.2. Agregados - AGRE	41
2.1.3. Solos - SOLO	44
2.1.4. Aditivos - ADIT	49
2.1.5. Fibras - FIBR	49
2.1.6. Melhoradores de Adesividade - DOPE	50
2.2. MATERIAIS	51
2.2.1. Revestimento Asfáltico	53
2.2.1.1. Seleção da granulometria	59
2.2.1.2. Preparação dos CPs	61
2.2.2. Base	64
2.2.3. Sub-Base	66
2.2.4. Pintura de Ligação	67
2.2.5. Imprimação	67
2.2.6. Regularização do Subleito	67
2.2.7. Reforço do Subleito	68
2.2.8. Outros materiais de base ou sub-base	68
2.3. ESTRUTURA	68
2.3.1. Pavimento Novo	68
2.3.2. Pavimento a Ser Restaurado	69
2.3.3. Descrição Detalhada da Via	70
3. ETAPA 2: EXECUÇÃO	73
3.1. CONFIRMAÇÃO DOS MATERIAIS	75
3.2. CONTROLE DE EXECUÇÃO	76
3.2.1. Controle de Produção e Aplicação da Massa Asfáltica	77
3.2.2. Recebimento do Pavimento: Tempo '0'	80

3.2.2.1. Avaliação da Condição Estrutural do Trecho Monitorado.....	81
3.2.2.2. Avaliação da Condição Funcional do Trecho Monitorado	82
3.2.2.3. Avaliação de Aderência.....	82
3.2.2.4. Recontagem do Tráfego.....	82
4. ETAPA 3: PÓS-EXECUÇÃO	83
4.1. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DOS TRECHOS MONITORADOS.....	83
4.1.1. Contagem e Pesagem dos Veículos	84
4.1.2. Avaliação da Condição Funcional dos Trechos Monitorados	84
4.1.3. Avaliação da Condição Estrutural dos Trechos Monitorados.....	85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
6. REFERÊNCIAS	89
7. FLUXOGRAMAS	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ficha de identificação.	4
Figura 2: Boletim de Sondagem - Pavimento e Subleito.	7
Figura 3: Resultados dos Ensaios de Sondagem - Pavimento e Subleito.	8
Figura 4: Ficha de contagem de tráfego para pavimentos novos - Pesquisa de origem / destino - O/D.	11
Figura 5: Ficha de contagem de tráfego para pavimentos existentes - Contagem volumétrica horária.	12
Figura 6: Ficha de contagem de tráfego para pavimentos existentes - Contagem volumétrica de hora pico.	13
Figura 7: Treliza de alumínio usada para medir afundamentos nas trilhas de roda.	16
Figura 8: Esquema de posicionamento de sensores laser no levantamento do afundamento nas trilhas de roda - ATR.	16
Figura 9: Ficha para levantamento de dados de deflexões através da Viga Benkelman.	19
Figura 10: <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD).	19
Figura 11: Ficha para levantamento de dados com FWD.	20
Figura 12: <i>Machine for Evaluating Roughness using Low-Cost Instrumentation</i> (MERLIN)	21
Figura 13: Ficha de coleta de dados através do MERLIN.	22
Figura 14: Sistema de locação de defeitos adotado no SRTA.	25
Figura 15: Ficha para levantamento de defeitos da superfície do pavimento.	26
Figura 16: Exemplo de etapa do Ensaio de Mancha de Areia.	27
Figura 17: Ficha para avaliação da macrotextura do pavimento - Ensaio de mancha de areia.	28
Figura 18: Execução do ensaio com o Pêndulo Britânico.	29
Figura 19: Ficha para avaliação da microtextura do pavimento - Ensaio de Pêndulo Britânico.	30
Figura 20: Ficha para avaliação da permeabilidade do pavimento.	31
Figura 21: Ficha de dados de CPs de misturas asfálticas extraídos de campo - Folha 1.	32
Figura 22: Ficha de dados dos CPs de misturas asfálticas extraídos de campo - Folha 2.	33
Figura 23: Ficha de dados das informações cadastrais de cada Trecho Monitorado.	36
Figura 24: Ficha de identificação das amostras por Trecho Monitorado.	38
Figura 25: Ficha de caracterização de materiais - Asfalto.	41
Figura 26: Ficha de caracterização de materiais - Agregados.	44
Figura 27: Ficha de caracterização de materiais - Solos - Folha 1.	47
Figura 28: Ficha de caracterização de materiais - Solos - Folha 2.	48
Figura 29: Ficha de identificação dos materiais das camadas - Folha 1.	52
Figura 30: Ficha de identificação dos materiais das camadas - Folha 2.	53
Figura 31: Ficha de Características do Revestimento - Tratamento Superficial.	54
Figura 32: Ficha de Características do Revestimento - Misturas Usinadas.	55
Figura 33: Ficha de dados de dosagem da mistura asfáltica.	57
Figura 34: Ficha de dosagem de mistura asfáltica - Método Marshall - Folhas 1, 2 e 3.	58
Figura 35: Ficha de dosagem de mistura asfáltica - Método Superpave - Folhas 1 e 2.	59
Figura 36: Ficha de dados do Trecho Monitorado - Folha 1.	71
Figura 37: Ficha de dados do Trecho Monitorado - Folha 2.	72
Figura 38: Ficha de acompanhamento - Usina de Asfalto.	78
Figura 39: Ficha de acompanhamento - Pista.	79
Figura 40: Ficha de determinação do grau de compactação pelo método do frasco de areia.	81
Figura 41: Régua para controle de acabamento de superfície.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ensaio de sondagem (SOLO)	6
Tabela 2: Normas de avaliações: funcional e estrutural dos pavimentos (PAV).....	17
Tabela 3: Tipos de defeitos dos pavimentos considerados nesta pesquisa	24
Tabela 4: Classes de macrotextura pelo método da Mancha de Areia (DNIT, 2006).	28
Tabela 5: Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico (DNIT, 2006).	29
Tabela 6: Lista de normas para ensaios de corpos de prova de mistura asfáltica de revestimento antigo (MIST).	33
Tabela 7: Lista de normas para ensaios nas amostras de asfalto (ASFA).	40
Tabela 8: Lista de normas para ensaios nas amostras de agregado (AGRE)	43
Tabela 9: Lista de normas para ensaios nas amostras de solo (SOLO).....	45
Tabela 10: Lista de normas para ensaios de melhoradores de adesividade (DOPE).....	50
Tabela 11: Tipos de revestimentos e ensaios de misturas (REVES).....	56
Tabela 12: Exemplo de faixa de trabalho e limites da especificação para misturas do tipo <i>Gap Graded</i>	60
Tabela 13: Parâmetros volumétricos e mecânicos, em função do teor de ligante, obtidos na dosagem das misturas asfálticas.....	61
Tabela 14: Características dos CPs moldados com compactador Marshall para cada ensaio.	62
Tabela 15: Características dos CPs moldados com compactador giratório para cada ensaio.	62
Tabela 16: Ensaios para avaliação das misturas asfálticas (MIST).....	64
Tabela 17: Lista de normas para ensaios de adesividade (ADES).....	64
Tabela 18: Lista das especificações para cada tipo de base (BASE).....	65
Tabela 19: Lista das especificações para cada tipo de sub-base (SUBB).....	67
Tabela 20: Lista de ensaios de controle de campo (CONT).	76
Tabela 21: Coleta de materiais das camadas durante a construção (em pista) para ensaios posteriores.	77
Tabela 22: Tabela de periodicidade das avaliações periódicas pós-execução dos trechos monitorados a serem registradas no SRTA.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAQ	Areia-Asfalto a Quente
ADIT	Aditivo - sigla usada na montagem das siglas das amostras
AGRE	Agregado - sigla usada na montagem das siglas das amostras
ASFA	Asfalto (ligante) - sigla usada na montagem das siglas das amostras
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADP	Asfalto Diluído de Petróleo
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATR	Afundamento nas Trilhas de Roda
BBTM	<i>Béton Bitumineux Très Mince</i> (Concreto Betuminoso Muito Delgado)
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
BPN	<i>British Pendulum Number</i>
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CP	Corpo de Prova
CPA	Camada Porosa de Atrito
CPs	Corpos de Prova
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DER	Departamento de Estrada de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes
DOPE	Agente melhorador de adesividade - sigla usada na montagem das siglas das amostras
EA	Emulsão Asfáltica
EME	<i>Enrobés à Module Eleve</i> (Misturas de Módulo Elevado)
FIBR	Fibra - usado na montagem das siglas das amostras
FN	<i>Flow Number</i>
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GG	<i>Gap Graded</i>
Gmb	Massa Específica Aparente da Mistura
Gmm	Massa Específica Máxima da Mistura
GPR	<i>Ground Penetration Radar</i>
Gsa	Massa Específica Real
Gsb	Massa Específica Aparente dos Agregados
Gse	Massa Específica Efetiva
h_{ot}	Umidade Ótima
IGG	Índice de Gravidade Global
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRI	<i>International Roughness Index</i>
LA	Lama Asfáltica
LVDT	<i>Linear Variable Differential Transformer</i>
MCT	Miniatura Compactada Tropical
MD	Módulo Dinâmico
MERLIN	<i>Machine for Evaluating Roughness using Low-cost INstrumentation</i>
MR, Mr	Módulo de Resiliência ou Módulo Resiliente
MRAF	Microrrevestimento Asfáltico a Frio
NBR	Norma Brasileira
O/D	Pesquisa Origem / Destino
PG	<i>Performance Grade</i>
PMF	Pré-Misturado a Frio
RBV	Relação Betume Vazios
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RT	Resistência à Tração

SDIMPA	Sistema de Dimensionamento de Pavimento Asfáltico
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (2000)
SisPav	Método de Dimensionamento Mecanístico-Empírico de Pavimentos Asfálticos
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
SOLO	Solo - sigla usada na montagem das siglas das amostras
SRTA	Sistema da REDE Temática de Asfaltos: desenvolvido pelo CENPES, funciona como banco de dados conjunto da pesquisa de todas as instituições.
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TSS	Tratamento Superficial Simples
TST	Tratamento Superficial Triplo
VAM	Vazios do Agregado Mineral
VB	Viga <i>Benkelman</i>
VCB	Vazios Cheios de Betume
VMD	Volume Médio Diário
VRD	Valor de Resistência à Derrapagem
VSA	Valor de Serventia Atual
Vv	Volume de vazios
WGS84	<i>World Geodetic System</i> (1984)
$\gamma_{S_{máx}}$	Massa Específica Aparente Seca Máxima

MANUAL DE EXECUÇÃO DE TRECHOS MONITORADOS

INTRODUÇÃO

Este Manual visa apresentar de forma sucinta e agrupada os passos para planejamento e execução de trechos monitorados previstos dentro do Projeto Integrado da REDE Temática de Tecnologia em Asfalto PETROBRAS / ANP: **DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS - SDIMPA (Sistema de Dimensionamento de Pavimento Asfáltico)**.

Em sua Fase I está prevista a construção e monitoramento sistemático de seções experimentais em várias regiões do Brasil, sempre vinculadas a uma das instituições (instituição executora) participantes da REDE. Visa o desenvolvimento de um banco de dados de materiais e de desempenho de pavimentos que irá validar o desenvolvimento de um Método Brasileiro de Dimensionamento Mecânico de Pavimentos Asfálticos Novo e de Reforço.

Este Manual apresenta as atividades que devem ser realizadas para a execução de trechos monitorados. Inicialmente, a instituição executora deve buscar parceria com órgão rodoviário (federal, estadual ou municipal) ou concessionário (empresa parceira) para a implantação do Trecho Monitorado. Além disso, quando desejar, deve identificar a instituição que dará apoio ao projeto, como parceira, para discussões e ajuda nas diversas fases.

O Manual apresenta as etapas que devem ser cumpridas antes da construção (**PRÉ-EXECUÇÃO**), durante a construção (**EXECUÇÃO**) e após a execução do trecho (**PÓS-EXECUÇÃO**). Todas as informações geradas vão alimentar um banco de dados único que ajudará a armazenar de forma organizada e no mesmo padrão as informações dos trechos monitorados. Este banco de dados compõe um sistema de informação especialmente desenvolvido pelo CENPES para este fim: **Sistema da REDE Temática de Asfaltos**, denominado a partir daqui de **SRTA**. A partir deste banco de dados será feita a análise dos resultados globais e será possível obter fator(es) campo - laboratório e modelos de desempenho para alimentar o método de dimensionamento.

A etapa de PRÉ-EXECUÇÃO é dividida em: INFORMAÇÕES PRELIMINARES, AMOSTRAS, MATERIAIS e ESTRUTURA. O item INFORMAÇÕES PRELIMINARES trata de: definição de parcerias, incluindo a coleta de dados das instituições participantes (executora e parceira, quando houver) e das empresas parceiras (órgãos rodoviários, concessionárias ou empresas privadas); definição do tipo de seção a ser executada (pavimento novo ou recapeamento) e informações do local do Trecho Monitorado (dados de tráfego, número N, clima, características geométricas, coordenadas etc.); assim como avaliação das condições do pavimento existente. O item AMOSTRAS apresenta orientações de como coletar, caracterizar e avaliar as amostras de materiais, provenientes de jazidas, ocorrências, pedreiras, ou outras fontes, que serão objeto de caracterização prévia (solos, agregados, ligantes asfálticos etc.) para posterior seleção dos que serão empregados na

construção do pavimento. Indica as quantidades a serem coletadas e as especificações que devem ser seguidas para a avaliação de cada amostra. O item MATERIAIS apresenta as combinações das diversas AMOSTRAS selecionadas, com os respectivos resultados de ensaios, o que inclui dosagem de misturas asfálticas, determinações de umidades e energias de compactação de solos, definição de proporções de misturas de solos/agregados, e demais combinações de AMOSTRAS que se fizerem necessárias. O item ESTRUTURA apresenta os dados do dimensionamento do pavimento, incluindo tipo de seção (pavimento novo ou recapeamento), dados de tráfego, clima e informações detalhadas da via. Neste item são definidos quais MATERIAIS avaliados anteriormente serão utilizados na composição do pavimento, especificando-se a camada de utilização (reforço, sub-base, base ou revestimento), a espessura e demais características de cada camada. Além disso, apresenta as atividades que devem ser executadas para a construção do Trecho Monitorado, em função do tipo de seção.

A etapa de EXECUÇÃO é dividida em CONFIRMAÇÃO DOS MATERIAIS e CONTROLE DE EXECUÇÃO. A CONFIRMAÇÃO DOS MATERIAIS consiste na caracterização expedita e avaliação visual dos materiais que serão utilizados na construção do trecho para verificar se os mesmos atendem as características dos materiais selecionados na etapa de pré-execução e levantamento da Etapa 0, especialmente os utilizados na dosagem da mistura asfáltica. O CONTROLE DE EXECUÇÃO compreende a realização do “*as built*” do trecho com as seguintes atividades principais: controle da volumetria da massa asfáltica, realizado a partir da extração do ligante e da verificação da granulometria de amostras de massa asfáltica coletadas de cada caminhão; controle de temperatura da massa asfáltica na usina, quando o caminhão chega ao campo e após o espalhamento da massa no trecho, antes da compactação; controle do grau de compactação (preferencialmente com a aplicação do densímetro não nuclear) das camadas de mistura; medida das deflexões; controle da qualidade superficial de acabamento através de ensaios de macrotextura (mancha de areia) e microtextura (Pêndulo Britânico). Também quando o trecho for novo serão executados controles de construção de cada camada: base, sub-base, reforço de subleito e camada final de terraplenagem.

A etapa de PÓS-EXECUÇÃO consiste na AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DOS TRECHOS MONITORADOS, que compreende a avaliação das condições funcional e estrutural dos pavimentos e a avaliação dos efeitos climáticos no comportamento mecânico dos materiais empregados na camada de revestimento, particularmente no envelhecimento dos ligantes e das misturas asfálticas. As principais atividades da etapa de PÓS-EXECUÇÃO são: monitoramento do tráfego, coleta de corpos de prova do revestimento para análise mecânica, determinação das espessuras das camadas empregando GPR (*Ground Penetration Radar*), determinação das deflexões, levantamento das condições de macro e micro textura, levantamento do IRI e levantamento de defeitos dos pavimentos.

Este Manual apresenta em anexo as planilhas (**ANEXO DIGITAL**) citadas no texto, que devem ser preenchidas com os dados obtidos em laboratório e em campo e que servem de

apoio para todas as etapas de implantação e análise da seção monitorada. Além disso, serve de orientação para o preenchimento do banco de dados do sistema **SRTA**. Devem ser armazenados integralmente dados dos materiais, das estruturas e do desempenho dos pavimentos das diversas seções monitoradas em cada etapa. Cada universidade ou instituição executora fica responsável por esta entrada integral de dados no Sistema, recebendo, ao se cadastrar, uma senha para o acesso ao SRTA.

As normas e especificações técnicas do DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - estão disponíveis no seguinte endereço eletrônico: http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_normas.htm.

As normas internacionais citadas no texto, nas fichas e nas tabelas, terão sempre um correspondente “Procedimento REDE” em português apresentado no ANEXO DIGITAL, baseado no respectivo documento original, visando facilitar a aplicação do seu conteúdo.


Todos os formulários, planilhas, normas, especificações, e **procedimentos** particulares desenvolvidos no âmbito desta pesquisa e citadas no Manual estão em anexo e também serão fornecidos em formato digital para cada instituição executora.

Cabe lembrar que os participantes da REDE TEMÁTICA devem ficar atentos às atualizações das normas citadas, devendo adotar sempre a versão mais atualizada na época de cada obra.

1. ETAPA 0 - INFORMAÇÕES PRELIMINARES

A **Etapa 0** consiste na identificação e definição das parcerias entre cada instituição participante (instituição executora) e um órgão (federal, estadual ou municipal) ou empresa parceira para viabilizar o experimento. A instituição executora pode, a seu critério, buscar apoio em outra instituição da REDE como parceira. Estes dados são agrupados na ficha mostrada na **Figura 1** (F 01 - Ficha de Identificação). Esta etapa visa também a obtenção das informações preliminares (localização, coordenadas, dados de tráfego, número N, clima etc.) e a definição do tipo de seção a ser executada: pavimento novo (sempre que possível esta deve ser a primeira escolha) ou recapeamento, assim como as características geométricas (extensão, largura das faixas, declividades, etc.). A instituição participante (INSTITUIÇÃO EXECUTORA) deve inserir no espaço reservado de cada ficha a *logomarca*, conforme exemplo da **Figura 1**. Cada item desta ficha está descrito a seguir.

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 01 - Ficha de Identificação

INSTITUIÇÃO EXECUTORA		
Nome da Instituição:		Sigla da instituição:
CNPJ	Unidade/Departamento/Laboratório:	
Endereço completo:	Cidade/Estado:	CEP
Coordenador:	e-mail:	Telefone:
Fundação:	Sigla:	CNPJ
Endereço completo:	Cidade/Estado:	CEP
Equipe técnica:		Função:
EMPRESA ou ÓRGÃO PARCEIRO		
Nome da empresa:		Sigla da empresa:
Endereço completo:	Cidade/Estado:	CEP
Tipo de parceiro: () Federal () Estadual () Municipal () Privado		Tipo de atividade:
Coordenador:	e-mail:	Telefone:
Equipe de apoio:		Função:
INSTITUIÇÃO PARCEIRA		
Nome da Instituição:		Sigla da instituição:
CNPJ	Unidade/Departamento/Laboratório:	
Endereço completo:	Cidade/Estado:	CEP
Coordenador:	e-mail:	Telefone:
Equipe de apoio:		Função:

Figura 1: Ficha de identificação.

1.1. INSTITUIÇÃO EXECUTORA

São requeridos os seguintes dados da instituição executora:

- Nome;
- Sigla da instituição;
- CNPJ;
- Localização: endereço completo (nome da rua, número, bairro, município, estado, CEP, telefone e e-mail do responsável institucional);
- Fundação: nome da fundação responsável pela atividade administrativa;
- Coordenador: responsável da instituição executora pelo projeto do Trecho Monitorado;
- Equipe técnica executora: listar os participantes.

1.2. EMPRESA ou ÓRGÃO PARCEIRO

São requeridos os seguintes dados da empresa ou órgão:

- Nome;
- Sigla da empresa ou órgão;
- Coordenador: responsável da empresa ou órgão parceiro, formação e cargo;
- Informações: endereço, telefone de contato, e-mail etc.; dados e informações gerais, como tipo de atividades etc.

1.3. INSTITUIÇÃO PARCEIRA

Caso a Instituição executora tenha uma instituição ou universidade parceira, são requeridos os seguintes dados desta:

- Nome;
- Sigla da instituição;
- CNPJ;
- Coordenador: responsável da instituição parceira;
- Informações: endereço, telefone de contato, e-mail, etc., dados e informações gerais;
- Equipe colaboradora: listar.

1.4. DADOS PRELIMINARES

A partir da definição das parcerias, do tipo de seção (pavimento novo ou recapeamento) e de suas características (local, extensão, número de faixas, largura de faixas etc.), deve ser realizada a coleta de informações preliminares: dados de tráfego e de clima da região, assim como uma análise estrutural preliminar do local onde será implantado o Trecho Monitorado. Essas informações são essenciais para realizar as etapas posteriores, das quais fazem parte: a seleção dos materiais disponíveis para a obra, a definição e avaliação das propriedades dos materiais e o dimensionamento final ou verificação do dimensionamento existente, ou seja, análise mecânica com uso do programa SisPav, com propriedades “reais” (não estimadas por correlação e sim baseadas em análises laboratoriais compatíveis com o clima e com o tráfego que irá atuar no trecho em questão). Para uso do SisPav existe um procedimento particular da REDE (Procedimento REDE 01/2010), de entrada de dados e critérios de projeto a serem adotados, que faz parte do ANEXO DIGITAL.

1.4.1. Informações Gerais

Constitui um Trecho Monitorado, no sentido dado neste Manual, um segmento construído sob determinadas condições estipuladas que vai ser acompanhado sistematicamente de acordo com o previsto nestas instruções. Num mesmo local podem ser construídos vários trechos monitorados de características similares (com pequenas mudanças de materiais ou de espessuras, por exemplo) ou muito distintas, em sequência, de forma a apresentarem o mesmo tráfego e condições climáticas. Cada um deles será codificado como um novo trecho e gerará uma identificação no SRTA. Estes trechos podem ser num segmento a ser implantado (pavimento novo) ou numa restauração (reforço).

➤ Pavimento novo

No caso da parceria para a pesquisa de trecho monitorado for para pavimento novo e este ainda estiver com a fase de implantação básica sendo realizada, deverão ser feitos estudos geológicos - pedológicos - fisiográficos da região, além de amostragem no eixo da pista, dos locais do projeto geométrico. Neste caso, as ações seguintes podem ser feitas em conjunto com o órgão parceiro:

- A coleta das amostras representativas dos solos dos cortes deve ser realizada em poços de sondagem até o subleito de acordo com as quantidades propostas no Manual de Implantação Básica, sendo amostras deformadas com medidas de umidade no momento da coleta. No caso do subleito não ser acessível no momento da coleta, admite-se a sondagem de reconhecimento (**Tabela 1**). No caso de trecho a ser executado sobre aterro, este será considerado o subleito e deve também ser amostrado;
- Levantamento das jazidas disponíveis para compor as camadas do pavimento, com coleta de amostras para avaliação em laboratório, identificação do perfil da jazida e horizontes de coleta, e cubagem do volume de material;
- Levantamento de possíveis fontes de agregados alternativos ou rejeitos e resíduos que possam ser utilizados como camada do pavimento, caso seja de interesse conjunto da instituição executora e parceiros (as quantidades serão discriminadas mais adiante);
- Levantamento das pedreiras e fontes de materiais para compor as misturas asfálticas, com coleta de amostras para avaliação em laboratório.

Na Figura 2 está apresentado o modelo do **Boletim de Sondagem** (F 02 - Boletim de Sondagem) a ser empregado para identificação destas coletas. A Figura 3 apresenta a **Ficha Cadastral dos Resultados dos Ensaios** (F 03 - Resultados dos Ensaios de Sondagem) realizados nas amostras provenientes do subleito e das jazidas ou fontes de materiais alternativos para as camadas.

Tabela 1: Ensaio de sondagem (SOLO).

Código	Norma	Método de Ensaio
SOLO 01	DNIT PRO 102-97	Sondagem de reconhecimento pelo método rotativo

Figura 2: Boletim de Sondagem.

Inserir a logo da instituição executora

BR PETROBRAS

REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 03 - Resultados dos Ensaios de Sondagem

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data do ensaio:
Pista:	Tipo de revestimento:	Número da amostra:
Laboratório responsável pela execução dos ensaios:		

REGISTRO Nº					
ESTACA					
LADO					
FURO					
PROF. (cm)	DE				
	A				
GRANULOMETRIA	PASSANDO	2"			
		1"			
		3/8"			
		Nº 4			
		Nº 10			
		Nº 40			
		Nº 200			
FAIXA DNIT					
LL					
IP					
EA					
IG					
CLASSIF. HRB					
ENERGIA () NORMAL	MEAS				
() INTERMED	UMID. ÓTIMA				
() INT-MODIF	I.S.C.				
() MODIF	EXPANSÃO				
DADOS DE CAMPO	M.E. "IN SITU"				
	UMIDADE				
	GRAU COMPAC.				
OBSERVAÇÕES:					

Figura 3: Resultados dos Ensaios de Sondagem - Pavimento e Subleito.

No caso de pavimento novo em que o projeto inicial e a implantação de alguns trechos tenha ocorrido, as coletas serão feitas diretamente no local escolhido, com a terraplenagem já realizada, e os levantamentos serão os seguintes:

- Seleção do local (ou locais) e definição de extensão (mínimo de 250 m por seção, seja por material ou técnica a ser testada); sempre que possível definir trechos de características equivalentes, construído de maneira convencional em relação ao resto do trecho total da via; dar preferência para trecho plano e em tangente. É recomendável que o local seja selecionado em conjunto com o órgão rodoviário ou empresa responsável, devendo ser apresentadas todas as informações necessárias para a construção do Trecho Monitorado, de acordo com o determinado neste Manual;

- Avaliação das condições do local selecionado: identificação geológica – pedológica – fisiográfica, condições de drenagem, tipo de solo local, coleta de amostra do subleito e levantamento das condições de tráfego de projeto; coleta de amostras de reforço de subleito, sub-base e base, no local ou nas jazidas pré-definidas no projeto convencional do trecho.
- **Pavimento a ser restaurado**
 - Tipos e características do pavimento existente: deve ser identificado o tipo de pavimento, inclusive os materiais empregados na composição das camadas (revestimento, base, sub-base e reforço do subleito), através do histórico do pavimento, identificando a data de construção e de eventuais atividades de manutenção e reabilitação. Além disso, devem ser identificadas as características da seção selecionada (largura, extensão, espessura das camadas, existência de drenagem, rampas etc.). Deve ser aberto poço de sondagem e realizada a coleta de amostras até o subleito (mínimo de um poço por seção de experimento).
 - As mesmas fichas de boletim de sondagem e de identificação dos resultados dos ensaios mencionadas no item anterior deverão ser preenchidas.

1.4.2. Tráfego

Para determinação do número N, os dados de tráfego devem ser solicitados ao órgão rodoviário ou responsável pela obra. Caso não estejam disponíveis, levantar os dados o mais detalhadamente possível, segundo o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (IPR Publicação 723, 2006), conforme descrito sucintamente a seguir:

- Volume Médio Diário (VMD) do pavimento existente (recapeamento) e estimativa do VMD da via a ser construída;
- Contagem e pesagem: no caso de pavimento existente, realizar coleta de dados de tráfego através de contagem volumétrica classificatória conforme planilhas do ANEXO DIGITAL, separando os tipos de veículos, em função do número de eixos e da carga por eixo. A pesagem dos veículos deve ser realizada com o objetivo de determinar o espectro de carga por eixo solicitante da estrutura, para efeito de avaliação e dimensionamento do pavimento. Recomenda-se que a pesagem seja realizada através de posto móvel pelo menos uma vez na etapa de Pré-execução e uma vez em cada etapa de Pós-execução (monitoramento), atendendo o Item 6.6 do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT;
- Taxa de crescimento do tráfego da via a ser construída (pavimento novo) ou existente (recapeamento), fornecida pelo órgão responsável pelo controle de tráfego (no caso de seções urbanas) ou pelos Departamentos de Estrada de Rodagem (DERs) ou DNIT, no caso de seções de rodovias.

1.4.2.1. Levantamento detalhado dos eixos

O levantamento detalhado dos eixos deve ser realizado a partir da coleta de dados do tráfego (contagem classificatória por tipo de veículo e número de eixos), que pode ser feita de diferentes formas, dependendo do tipo de via (pavimento novo ou recapeamento) a ser construída no trecho que será monitorado. Caso o pavimento a ser construído seja novo,


deve ser feita a coleta de dados do tráfego através de pesquisa origem / destino, O/D (**Figura 4 - F 04 - Ficha de Contagem de Tráfego - Pesquisa de Origem / Destino - O/D**), em vias próximas ao local do Trecho Monitorado. A definição da localização dos postos de contagem da pesquisa O/D deve ser feita a partir de mapa das vias próximas que estão sendo utilizadas para a movimentação de passageiros e cargas, obtendo os pontos, inicial e final, dos deslocamentos. Caso o pavimento a ser monitorado seja um recapeamento, deve ser feita a contagem volumétrica classificatória horária ou de hora pico.

Para a execução das pesquisas de tráfego em rodovias devem ser atendidos os seguintes passos:

- elaborar croqui com localização dos postos de coleta de dados;
- realizar a sinalização do posto de contagem e policiamento para ordenar o tráfego;
- definir número de pesquisadores: varia em função do volume de tráfego (normalmente 3 equipes com turnos de 8 horas cada);
- preencher formulários dos tipos de veículos ou usar contadores de tráfego.

Sempre que possível, podem ser utilizados procedimentos de contagem automática, videorregistro simples ou com identificação automática dos veículos, ou qualquer outro processo mais moderno de obtenção do volume médio diário do tráfego e dos tipos de veículos que circulam pelo trecho.

Inserir a logo da Instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 04 - Ficha de Contagem de Tráfego - Pesquisa de Origem / Destino - O/D

LOCALIZAÇÃO	Instituição responsável:		Identificação da seção:	
	Município:		Estado:	Entrevistador:
	Trecho:		<input type="checkbox"/> Pavimentada	<input type="checkbox"/> Não Pavimentada
	SENTIDO: A		B	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">A → B</div> <input type="checkbox"/> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">B → A</div> <input type="checkbox"/> </div>
	Dia da semana:		Data:	Hora:

MOVIMENTAÇÃO	Origem	ESTADO		MUNICÍPIO		Zona
	Destino					Zona
	Cidade Anterior					Zona
	Cidade Posterior					Zona

Tipos de veículos:

☐ 1 - VEÍCULOS DE PASSAGEIROS
 ☐ 2 - VEÍCULOS DE CARGA
















VEÍCULOS DE PASSAGEIROS

TIPO	VEÍCULO DE PASSEIO	TRANSPORTE COLETIVO
	<input type="checkbox"/> 1 - Carro de passeio	<input type="checkbox"/> 1 - Ônibus (2 eixos)
	<input type="checkbox"/> 2 - Utilitário	<input type="checkbox"/> 2 - Ônibus (3 eixos)
	<input type="checkbox"/> 3 - Pick-up	<input type="checkbox"/> 3 - Outros
	<input type="checkbox"/> 4 - Furgão	

Motivo da viagem:

☐ 1 - Trabalho Diário
 ☐ 3 - Negócios ou Serviços
☐ 2 - Férias ou Passeio
 ☐ 4 - Outros

VEÍCULOS DE CARGA

TIPO	CAMINHÃO	SEMI-REBOQUE	REBOQUE
	<input type="checkbox"/> 1 - Tipo 2C 	<input type="checkbox"/> 1 - Tipo 2S1 	<input type="checkbox"/> 1 - Tipo 2C2 
	<input type="checkbox"/> 2 - Tipo 3C 	<input type="checkbox"/> 2 - Tipo 2S2 	<input type="checkbox"/> 2 - Tipo 2C3 
	<input type="checkbox"/> 3 - Tipo 4C 	<input type="checkbox"/> 3 - Tipo 2S3 	<input type="checkbox"/> 3 - Tipo 3C2 
		<input type="checkbox"/> 4 - Tipo 2S3 	<input type="checkbox"/> 4 - Tipo 3C3 
		<input type="checkbox"/> 5 - Tipo 3S3 	<input type="checkbox"/> 5 - Tipo 3C2C2 
		<input type="checkbox"/> 6 - Tipo 3S2S2 	<input type="checkbox"/> 6 - Tipo 3S2C4 
		<input type="checkbox"/> 7 - Outros	

Tara: _____ kg

Capacidade: _____ kg

Espécie: _____ Vazio {
 ☐ Em busca
 ☐ Outros

Descrever a carga: _____

Peso da carga: _____ kg


Figura 4: Ficha de contagem de tráfego para pavimentos novos - Pesquisa de origem / destino - O/D.

As normas de execução das pesquisas de tráfego recomendam que o período de contagem seja de 7 dias consecutivos, 24 horas por dia. No caso de pavimentos novos, quando não existe um histórico do tráfego, pode ser necessário realizar a contagem uma vez em cada mês do ano. Somente quando o pavimento a ser construído for um recapeamento, é recomendado fazer contagem volumétrica classificatória de hora pico.

Nas **Figuras 5 e 6** são apresentadas as fichas de contagem horária de tráfego (**F 05 - Ficha de Contagem de Tráfego - Contagem Volumétrica - Horária**) e de hora pico (**F 06 - Ficha de Contagem de Tráfego - Contagem Volumétrica - Hora Pico**), respectivamente, para

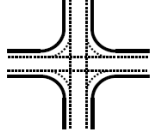
determinar o tráfego de pavimentos existentes. No caso de contagem volumétrica classificatória horária deve ser preenchido o número de fichas necessário para a coleta de dados do tráfego local. No caso da contagem volumétrica classificatória de hora pico, deve ser feita a contagem em 2 intervalos de 2 horas, geralmente das 7 às 9 horas e das 17 às 19 horas, sendo marcado o período de uma hora de maior volume de tráfego.

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 05 - Ficha de Contagem de Tráfego - Contagem Volumétrica - Horária

Instituição responsável:		Identificação da seção:		
Estado:		Rodovia:		
Data da contagem:		Hora de início:	Hora de término:	
Local da contagem em marco quilométrico:			Posto:	
A	Trecho:	B	Sentido:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">A → B</div> <input type="checkbox"/> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">B → A</div> <input type="checkbox"/> </div>









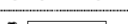

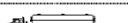










TIPO DE VEÍCULO	CONFIGURAÇÃO	Horário		Horário	
			Total		Total
Moto					
Carro de passeio					
Utilitário, pick-up e furgão					
Ônibus (2 eixos)					
Ônibus (3 eixos)					
Caminhão médio	2C 				
	3C 				
	4C 				
Caminhão semi-reboque	2S1 				
	2S2 				
	2S3 				
	2S3 				
	3S3 				
Duplo semi-reboque	3S2S2 				
Caminhão + reboque	2C2 				
	2C3 				
	3C2 				
	3C3 				
Treminhão	3C2C2 				
Rodotrem	3S2C4 				
Outros					

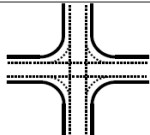
Figura 5: Ficha de contagem de tráfego para pavimentos existentes - Contagem volumétrica horária.

Inserir a logo
da instituição
executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 06 - Ficha de Contagem de Tráfego - Contagem Volumétrica - Hora Pico

Instituição responsável:		Identificação da seção:		
Estado:		Rodovia:		
Data da contagem:		Hora de início:	Hora de término:	
Local da contagem em marco quilométrico:			Posto:	

A Trecho:

B

Sentido:

A

B

B

A










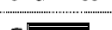
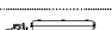









TIPO DE VEÍCULO	CONFIGURAÇÃO	Horário				Total
		0-15 min	15-30 min	30-45 min	45-60 min	
Moto						
Carro de passeio						
Utilitário, pick-up e furgão						
Ônibus (2 eixos)						
Ônibus (3 eixos)						
Caminhão médio	2C 					
	3C 					
	4C 					
Caminhão semi-reboque	2S1 					
	2S2 					
	2S3 					
	2S3 					
	3S3 					
Duplo semi-reboque	3S2S2 					
Caminhão + reboque	2C2 					
	2C3 					
	3C2 					
	3C3 					
Treminhão	3C2C2 					
Rodotrem	3S2C4 					
Outros						

Figura 6: Ficha de contagem de tráfego para pavimentos existentes - Contagem volumétrica da hora pico.

1.4.2.2. Número N

Para o dimensionamento mecânico serão utilizados os eixos individuais pesados e contados. No entanto, como ainda é usual projetos pelos métodos tradicionais que utilizam o eixo padrão, e mesmo para referência para possíveis fatores campo - laboratório, fazer a determinação do número N da via. Utilizar os fatores de equivalência de carga constantes do Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do Engenheiro Murillo Lopes de Souza do DNIT.

1.4.3. Características Geométricas

Deve ser feito um croqui onde constem as características geométricas da seção monitorada, identificando os seguintes itens:

- Tipo de seção: corte, aterro ou mista;
- Extensão da seção monitorada, com estaqueamento a cada 20 metros;
- Estacas: inicial e final;
- Número de faixas da seção;
- Largura das faixas;
- Sentido do tráfego;
- Drenagem: identificar a existência de drenagem (no caso de pavimento existente) ou o tipo de drenagem necessária;
- Identificar a posição do lençol freático verificando se está abaixo de 1,5 m do leito;
- Perfil longitudinal: indicar a inclinação longitudinal da seção;
- Declividade: indicar a declividade transversal da seção;
- **Acostamento:** quando a geometria da via permitir, no ponto escolhido para implantação do Trecho Monitorado, pode – se prever a colocação no acostamento correspondente ao local monitorado, da mesma mistura asfáltica usada no revestimento. Este trecho de acostamento, com espessura mínima de 5 cm e extensão mínima de 100 m, será utilizado para estudo específico de efeitos climáticos. Neste caso, consultar Manual específico: **Manual de Monitoramento de Efeitos Climáticos**.

1.4.4. Clima

Para auxiliar na seleção do material asfáltico devem ser coletados dados sobre o clima da região, onde será construído o Trecho Monitorado:

- Temperaturas do ar: média das temperaturas máximas de 7 dias consecutivos e temperatura mínima do ar, com intervalo de confiança de 98%, obtidas através de informações do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e/ou Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE;
- PG necessário pelo clima: determinação do Grau de Desempenho do ligante asfáltico (*Performance Grade* PG) em função das temperaturas máxima e mínima do ar. A temperatura máxima de projeto pode ser determinada pela seguinte expressão (MOHSENI e CARPENTER; 2004):

$$T_{\text{máx}} = 32,7 + [0,837 T_{\text{ar}}] - [0,0029 \text{Lat}^2] + z \times [\sigma_{\text{ar}}^2 + \delta_{\text{modelo}}^2]^{0,5} \quad (1)$$

onde:

$T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima do pavimento a 20mm de profundidade, em °C;

T_{ar} = máxima média das temperaturas máximas de 7 dias consecutivos, em °C;

Lat = latitude da região de projeto, em graus;

z = da tabela de distribuição normal, $z = 2,055$ para 98% de confiabilidade;

δ_{modelo} = erro padrão do modelo = 2,1°C;

σ_{ar} = desvio padrão da temperatura média mínima do ar em um ano típico, em °C.

A temperatura mínima de projeto pode ser determinada utilizando-se a seguinte equação (FHWA, 1998 e BOSSCHER, 2000):

$$T_{\min} = -1,56 + [0,72 \times T_{ar}] - [0,004 \times Lat^2] + [6,26 \times \log(H+25)] - z \times [4,4 + 0,52 \times \sigma_{ar}^2]^{0,5} \quad (2)$$

onde:

T_{\min} = temperatura mínima do revestimento asfáltico abaixo da superfície, em °C;

T_{ar} = temperatura mínima do ar em um ano típico, em °C;

Lat = latitude geográfica da região de projeto, em graus;

H = profundidade a partir da superfície, em mm;

z = da tabela de distribuição normal, z = 2,055 para 98% de confiabilidade;

σ_{ar} = desvio padrão da temperatura média mínima do ar em um ano típico, em °C.

Salienta-se que, para definir o PG, a determinação da máxima temperatura é calculada a 20 mm de profundidade, porém a mínima é calculada na superfície do pavimento.

1.4.5. Georreferenciamento

As coordenadas geográficas dos locais de coleta de materiais e o georreferenciamento do trecho a ser executado serão feitos através do sistema SIRGAS2000 ou de seu equivalente WGS84, compatíveis entre si.

1.4.6. Avaliação das Condições do Pavimento Existente

Se o projeto for num local onde já exista um pavimento em uso, o Trecho Monitorado consistirá de uma restauração ou reabilitação do pavimento existente, com várias soluções possíveis tais como: reforço simples por adição de nova camada asfáltica, fresagem do revestimento e recomposição com nova camada asfáltica, fresagem com reciclagem, etc.

Independente da solução de pavimentação adotada na reabilitação, será necessário: determinar as características do pavimento existente (tipo de materiais e espessuras de camadas), e realizar um diagnóstico completo do pavimento existente com avaliações funcionais (levantamento de defeitos e do índice de irregularidade - IRI) e estruturais (deflexões e poços de sondagem) do pavimento (**Tabela 2**). No caso do levantamento de defeitos, este deverá ser feito de acordo com o procedimento descrito no próximo item deste Manual, baseado na metodologia DNIT PRO 006/2004 e no Manual do SHRP (2003), porém com simplificações conforme adotado no SRTA.

O IRI será determinado preferencialmente com perfilômetro inercial a laser, segundo norma ASTM E 950/04, por trilha da faixa de rolamento, um valor por trecho de 100m ou fração. Será reportada a média dos IRI determinados nos sensores instalados nas trilhas de roda. Todos os sensores do equipamento podem ser usados em casos especiais para definir um perfil mais completo das irregularidades, e no caso de 3 sensores, deverá ser instalado um em cada trilha de roda e outro no centro para permitir pelo menos uma avaliação aproximada do afundamento de trilha de roda. Registrar os dados oriundos do levantamento na Planilha - IRI e Afundamento de Trilha de Roda (F 07 - Ficha de Avaliação: IRI e Trilha de Roda).

Observa-se que as faixas de rolamento serão denominadas, sequencialmente, da seguinte forma: Faixa 1, Faixa 2, Faixa 3, Faixa N, etc., com numeração sempre crescente da faixa esquerda para a direita, tendo-se como referência o sentido do tráfego de veículos.

Os afundamentos de trilha de roda podem ser levantados por dois procedimentos. O primeiro é o referente à norma DNIT PRO 006-03, que utiliza uma treliça de alumínio (**Figura 7**), padronizada, de 1,20 m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio, e que permite medir, em milímetros, as flechas nas trilhas.

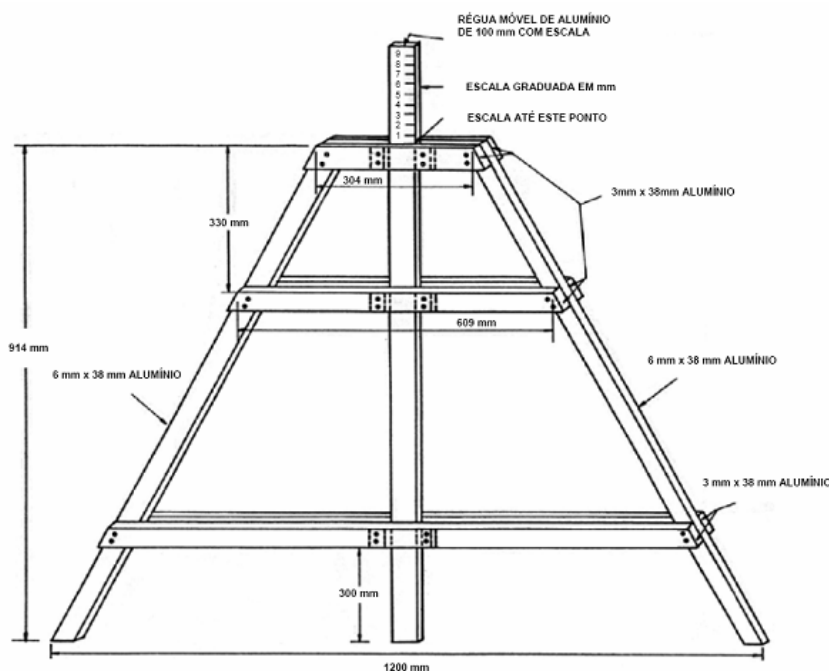


Figura 7: Treliza de alumínio usada para medir afundamentos nas trilhas de roda.

O segundo procedimento utiliza o perfilômetro a laser. Neste procedimento os sensores devem ter o posicionamento na barra de forma que simule uma treliça. Devem ser utilizados preferencialmente, 5 módulos laser, posicionados ao longo de uma barra rígida de 3 metros de comprimento, os módulos 1 e 5 ficam nas extremidades da barra, os módulos 2 e 4 ficam posicionados sobre as trilhas de roda e o módulo 3 fica no meio da barra (**Figura 8**).

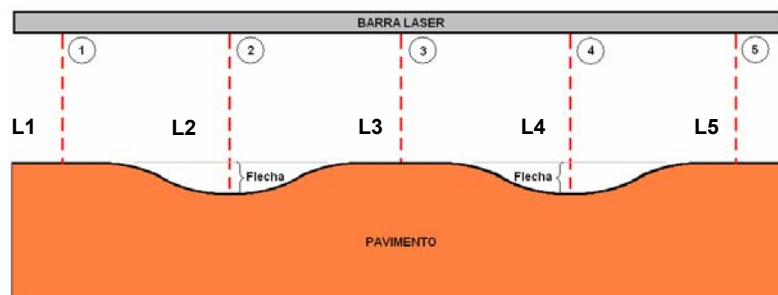


Figura 8: Esquema de posicionamento de sensores laser no levantamento do afundamento nas trilhas de roda - ATR.

O cálculo do afundamento obtido pelo equipamento laser para a determinação dos ATR é determinado através das seguintes equações:

$$\text{Flecha}_{\text{interna}} = L2 - \left(\frac{L1 + L3}{2} \right) \quad (3)$$

$$\text{Flecha}_{\text{externa}} = L4 - \left(\frac{L3 + L5}{2} \right) \quad (4)$$

Sob o ponto de vista estrutural, as medidas de deflexões podem ser feitas utilizando-se Viga Benkelman (F 08 - Ficha de Avaliação - Viga Benkelman), de preferência eletrônica, ou equipamento do tipo *Falling Weight Deflectometer - FWD* (F 09 - Ficha de Avaliação - FWD - *Falling Weight Deflectometer*), conforme normas indicadas na **Tabela 2**.

Tabela 2: Normas de avaliações: funcional e estrutural dos pavimentos (PAV).

Código	Norma	Método de Ensaio
PAV 01	DNIT xxx /2010 (antiga DNER ME 024/94)	Determinação das deflexões pela Viga Benkelman
PAV 02	DNIT PRO 006/04	Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos
PAV 03	DNER PRO 269/94	Projeto de Restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV
PAV 04	DNIT PRO xxx /2010 (antiga DNER PRO 273/96)	Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo <i>Falling Weight Deflectometer - FWD</i>
PAV 05	ASTM E 303-08	<i>Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester</i> (Pêndulo Britânico - Procedimento REDE)
PAV 06	ASTM E 965-06	<i>Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique</i> (Mancha de areia - Procedimento REDE)
PAV 07	DNIT PRO xxx /2010 (antiga DNER PRO 175/94)	Pavimento - Aferição de Viga <i>Benkelman</i> .
PAV 08	ABNT NBR 9604:1986	Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas.
PAV 09	TRRL 229 Procedimento REDE	<i>The Merlin Road Roughness Machine - User Guide</i> . Transport Research Laboratory Library (Uso do equipamento MERLIN - Procedimento REDE)
PAV 10	ASTM E 950-04	<i>Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference</i> (Uso de sensores laser para avaliação do IRI - Procedimento REDE)
PAV 11	AASHTO R 41-05	<i>Standard Practice for Measuring Pavement Profile Using a Dipstick®</i> (Uso do Dipstick - Procedimento REDE)
PAV 12	NLT 327-88	<i>Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro</i> (Permeabilidade - Procedimento REDE)

Ressalta-se que as medidas de deflexões deverão ser feitas em todas as faixas de rolamento do pavimento existente e a cada 20 metros, mantendo um *off-set* de 10 metros entre as medidas feitas nas diferentes faixas de rolamento, alternando-se as trilhas interna e externa (TI e TE).

Os levantamentos de deflexões com Viga *Benkelman* devem seguir o prescrito pela norma DNIT ME xxx¹ /2010 (antiga DNER ME 024/94 - Pavimento - Determinação das deflexões pela Viga *Benkelman*), após aferição da Viga. A Viga eletrônica substitui, com vantagens, a Viga *Benkelman* (VB) tradicional, uma vez que possibilita a tomada das medidas da bacia deflectométrica em uma única passagem do veículo, registrando e armazenando no computador de bordo os resultados de forma confiável, sem interferência do operador. Na **Figura 9** está mostrada a ficha da VB (F 08 Ficha de Avaliação - Viga Benkelman) utilizada na coleta dos dados de deflexões através da Viga Benkelman tradicional.

No caso do uso de FWD (**Figura 10**), os levantamentos devem ser realizados de acordo com o procedimento DNIT PRO xxx / 2010 (antigo DNER PRO 273/96). Anteriormente à realização de cada medição, deverão ser realizados o ajuste e a calibração do equipamento, consistindo de aferição da carga a ser aplicada, da altura de queda, dos sensores e do microcomputador do equipamento. Na **Figura 11** está a ficha para levantamento de dados com FWD.

¹ Á época da preparação deste Manual várias Normas do DNER estavam em revisão e não constavam ainda os novos números DNIT correspondentes. Portanto, cada vez que aparecer este formato de citação favor procurar na página www.dnit.gov.br a identificação completa.

Inserir a logo da instituição executora

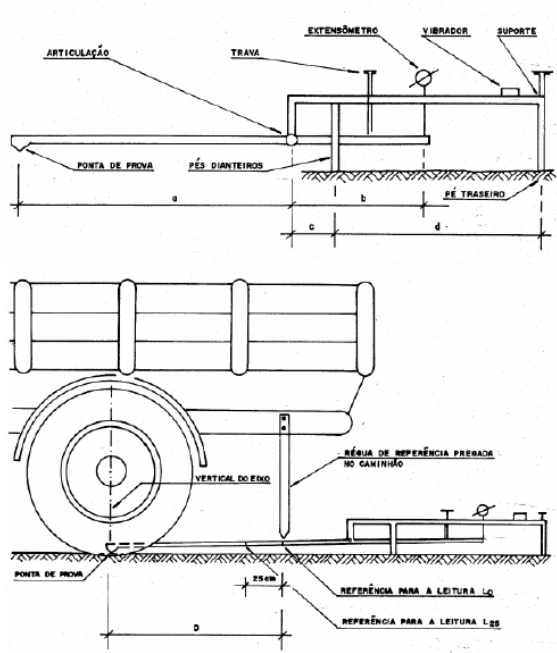
BR PETROBRAS

REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 08 - Ficha de Avaliação - Viga Benkelman - DNER-ME 024-94

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data do ensaio:
Pista:	Tipo de revestimento:	Executante:

RESULTADOS



$$D_0 = (L_0 - L_f) a/b$$

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$$

Leitura	1	2	3	4	5	6	7
Estaca							
Posição (LD / LE)							
L ₀ (Leitura inicial, em centésimos de mm)							
L _f (Leitura final, em centésimos de mm)							
D ₀ (Deflexão real ou verdadeira, em centésimos de mm)							
D ₂₅ (Deflexão a 25cm do ponto de prova, em centésimo de mm)							
R (Raio de curvatura, em m)							
Observações:							

Figura 9: Ficha para levantamento de dados de deflexões através da Viga Benkelman.



Figura 10: Aspectos de um *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Figura 11: Ficha para levantamento de dados com FWD.

REDE TEMÁTICA DE ASFALTO - MANUAL DE EXECUÇÃO DE TRECHOS MONITORADOS

- a) Para transformação da deflexão a determinada temperatura t qualquer em valor correspondente a temperatura de 20°C:

$$D_{20} = D_t (1,3704 - 0,0058 \text{ Esp} - 0,014 t) \quad (5)$$

onde:

Esp = espessura total de camadas asfálticas em cm.

t = temperatura da medida da deflexão, em °C.

- b) Posteriormente, transformam-se as deflexões a 20°C em valores correspondentes a 25°C, através do modelo:

$$D_{25} = D_{20} \left(\frac{1}{1,204 - 0,0058 \text{ Esp}} \right) \quad (6)$$


Para a avaliação da irregularidade longitudinal do pavimento, pode-se também utilizar o equipamento MERLIN (*Machine for Evaluating Roughness using Low-Cost Instrumentation*), ilustrado na **Figura 12**, de acordo com Manual *The Merlin Road Roughness Machine - User Guide* publicado pelo TRRL, *Transport Research Laboratory Library*, TRL Report 229. Dentre os pontos fortes do MERLIN, a simplicidade do seu projeto possibilita a sua construção sem a necessidade de muitos recursos financeiros, além de ser um equipamento de fácil manuseio. O equipamento possui uma estrutura metálica com 1,80 m de comprimento, munido de uma roda na parte dianteira, uma ponta de prova e um pé traseiro. Anexada à ponta de prova, há uma haste capaz de registrar em uma folha de papel um gráfico condizente com os movimentos da ponta de prova na proporção de 1:10. Para registro dos dados do levantamento usando o MERLIN utilizar a ficha F 11 - Ficha de Avaliação - MERLIN (Equipamento para avaliação da irregularidade usando instrumentação de baixo custo), preparada pela USP, que está disponível no ANEXO DIGITAL, conforme **Figura 13**.

Também se admite o uso do DIPSTICK, caso esteja disponível, seguindo a norma AASHTO R 41-05.



Figura 12: Equipamento para avaliação da irregularidade usando instrumentação de baixo custo (MERLIN)

Inserir a logo
da instituição
executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO

PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 11 - Ficha de Avaliação - MERLIN (Equipamento para avaliação da irregularidade usando instrumentação de baixo custo)

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data do ensaio:
Pista:	Tipo de revestimento:	Executante:

Rodovia: _____

Seção de Teste: _____

Trilha de Roda: _____

01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
										1
										2
										3
										4
										5
										6
										7
										8
										9
										10
										11
										12
										13
										14
										15
										16
										17
										18
										19
										20

IRI = 0,593 + 0,0471 * D

IRI = _____

QI = 13 * IRI

QI = _____

Observações:

Figura 13: Ficha de coleta de dados de irregularidade com uso do equipamento MERLIN.

Poços de sondagem serão feitos para identificar as diferentes camadas do pavimento a ser restaurado, determinar espessuras, densidades e umidades; e coletar materiais para realização de ensaios físicos e mecânicos em laboratório. As amostras coletadas deverão ser tratadas como MATERIAIS, já que fazem parte de camadas do pavimento, conforme orientações do item 2 deste Manual. Recomenda-se a prospecção no mínimo em um poço de sondagem para cada Trecho Monitorado e o uso de GPR para comprovar a homogeneidade ao longo do trecho.

Todos os dados coletados durante a avaliação das condições do pavimento existente deverão ser obrigatoriamente registrados nas planilhas padronizadas e no sistema de informações desenvolvido para este projeto de pesquisa (SRTA).

Com relação à solução de restauração a ser adotada, dependerá da relação entre a instituição executora e o órgão responsável pela rodovia. Existe a possibilidade da solução já estar definida pelo órgão; e caso seja possível a interferência na solução, esta deverá ser indicada com base mecânica ou através do procedimento DNER PRO 269/94. No caso de análises mecânicas e retroanálises deve-se utilizar o SisPav, mesmo que se utilize outro programa de cálculo de interesse local.

A seguir descrevem-se sucintamente alguns destes procedimentos de avaliação citados.

1.4.6.1. Metodologia para Levantamento de Defeitos dos Pavimentos

Para o levantamento dos defeitos dos pavimentos, foi criada uma metodologia específica para esta pesquisa, baseada nos procedimentos do DNIT (DNIT 005/2003-TER) e do SHRP (SHRP, 1993), descrita a seguir. O levantamento de defeitos será realizado através do caminhamento em toda a extensão do Trecho Monitorado, considerando os tipos de defeitos apresentados na **Tabela 3**.

Os defeitos do tipo Trincas estão divididos em quatro tipos: Isoladas, Interligadas, de Reflexão e de Borda. As Trincas Isoladas estão subdivididas em Transversais e Longitudinais, perpendiculares e paralelas ao eixo do pavimento, respectivamente, e podem localizar-se dentro ou fora das trilhas de roda. Porém não são diferenciadas quanto ao seu comprimento (curtas ou longas).

As Trincas Interligadas são constituídas por dois grupos: Fadiga e em Bloco. As Trincas Interligadas de Fadiga são aquelas causadas pelas cargas repetidas do tráfego de veículos e geralmente têm formato de “couro de jacaré”, com espaçamento inferior a 30 cm. Já as Trincas Interligadas em Blocos são aquelas que dividem o pavimento em retângulos, também estão associadas às cargas repetidas e geralmente aparecem em revestimentos sobre bases coesivas ou cimentadas.

As Trincas de Reflexão são causadas por trincas ou juntas das camadas inferiores ou por contrações das subcamadas. As Trincas de Bordas ocorrem geralmente onde o acostamento não é pavimentado, ficando a uma distância igual ou inferior a 50 cm da extremidade do pavimento.

A severidade dos defeitos tipo Trincas divide-se em dois níveis: Baixa e Alta, sem e com erosão nas bordas, respectivamente. No caso de Trincas Interligadas com movimentação das placas ou bombeamento, considerar a severidade como sendo Alta.

Tabela 3: Tipos de defeitos dos pavimentos considerados nesta pesquisa

DEFEITOS			CÓDIGO	SEVERIDADE	
				BAIXA	ALTA
Trincas	Isoladas	Transversais	TIT	TIT-B	TIT-A
		Longitudinais	TIL	TIL-B	TIL-A
	Interligadas	De Fadiga	TIF	TIF-B	TIF-A
		Em Bloco	TIB	TIB-B	TIB-A
	De Reflexão		TER	TER-B	TER-A
	De Borda		TBO	TBO-B	TBO-A
Afundamentos de Trilha de Roda	Apenas Revestimento		ATR	ATR-B	ATR-A
	Estrutural		ATE	ATR-B	ATR-A
Afundamentos Localizados			AFL	NA	
Ondulações / Corrugações			OND	NA	
Escorregamentos do Revestimento Asfáltico			ERA	NA	
Exsudações / Espelhamentos			EXS	NA	
Desgastes da Superfície do Revestimento			DSR	DSR-B	DSR-A
Painéis ou Buracos			PAN	NA	
Remendos			REM	REM-B	REM-A
Desníveis entre Pista e Acostamento			DPA	NA	
Agregados Polidos			AGP	NA	

A classe de defeitos associada aos afundamentos está dividida em dois tipos: Afundamentos de Trilha de Roda; e Afundamentos Localizados. O primeiro tipo está subdividido em afundamento apenas do revestimento (cisalhamento do revestimento asfáltico) e afundamento estrutural, causado pela consolidação das camadas ou pela deficiência estrutural de uma ou mais subcamadas do pavimento. Os defeitos do tipo Afundamentos Localizados podem estar ou não associados às trilhas de roda, porém sempre com extensão inferior a 5 metros.

Os Afundamentos de Trilha de Roda possuem severidade Baixa ou Alta, dependendo da profundidade: acima de 12 mm será considerada severidade Alta.

Os demais defeitos da **Tabela 3** são considerados da forma apresentada nos procedimentos de referência (DNIT e/ou SHRP). Observa-se que no Desgaste da Superfície do Revestimento, a severidade será considerada Baixa quando não afeta a textura do revestimento. Desgaste que comprometa textura ou qualidade de rolamento será nível Alto.

No caso dos Remendos, os de severidade Baixa são aqueles cuja intervenção é apenas superficial. Quando a intervenção for profunda (duas ou mais camadas), o Remendo deverá ser classificado como de Alta severidade.

Aspecto fundamental dos levantamentos desta pesquisa refere-se à locação e à abrangência dos defeitos, explicadas a seguir.

Conforme procedimentos deste Manual, o Trecho Monitorado deverá estar demarcado fisicamente por estacas a cada 20 metros. A locação longitudinal dos defeitos utilizará como

referência este estaqueamento físico, porém com resolução longitudinal de 1 metro. Transversalmente, os defeitos serão locados por faixa de rolamento, sendo que cada faixa terá 3 subdivisões transversais nomeadas: trilha esquerda, centro e trilha direita, considerando como referência o sentido do tráfego de veículos. A locação dos defeitos, portanto, terá resolução (precisão) de 1 metro longitudinalmente por 1/3 da largura da faixa de rolamento transversalmente. No sistema de banco de dados desenvolvido (SRTA), virtualmente aparecem células de 1 metro de comprimento por 1/3 da faixa de largura associadas a cada defeito.

A abrangência dos defeitos será dada pela área da célula afetada, em metros quadrados (m^2), o que significa que todos os defeitos levantados terão as suas dimensões computadas a cada levantamento. Nos defeitos tipo Trinca Isolada (Longitudinal e Transversal) e Desníveis entre Pista e Acostamento, a área será calculada considerando-se a extensão do defeito com largura fixa de 0,20 metros. Defeitos de pequena abrangência (pontuais) deverão ser computados com área mínima de $0,01 m^2$ (0,1 m x 0,1 m). Os defeitos do tipo Afundamentos de Trilha de Roda terão abrangência de 100% da área da célula afetada.

Caso haja dois ou mais defeitos do mesmo tipo numa célula, somar suas áreas de abrangência. Defeitos com abrangência maior do que uma célula devem ser divididos entre as células afetadas, juntamente com sua área de abrangência em cada célula. Por exemplo, uma trinca transversal com extensão total de 1 metro, porém com 0,5 metros na célula da trilha direita e o restante no centro, será computada duas vezes, uma em cada célula, com as respectivas áreas de abrangência (0,5 m x 0,2 m em cada célula).

Na **Figura 14** exemplifica-se este sistema de locação dos defeitos descritos. Nesta figura, cada quadrado é uma célula com 1 metro de comprimento e 1/3 da faixa de largura, conforme explicado. No caso de defeitos localizados na célula preenchida pela cor amarela, sua locação será dada da seguinte forma: Trecho Monitorado XXX / Estaca 0 + 6 metros / Faixa 1 - CE. Já os defeitos na célula verde serão locados como: Trecho Monitorado XXX / Estaca 1 + 18 metros / Faixa 2 - TI.

Trecho Monitorado XXXXX																								
Estacas					0										1									
Faixa 1	TI																							
	CE																							
	TE																							
Faixa 2	TI																							
	CE																							
	TE																							
Sentido do tráfego →																								

Obs: TI - trilha interna, CE - centro, TE - trilha externa

Figura 14: Sistema de locação de defeitos adotado no SRTA.

O levantamento detalhado (quantitativo) compreende, portanto, a marcação das áreas afetadas pelos diferentes tipos de defeitos, tomando-se o cuidado de considerar como área afetada, em planta, pelo menos 20 cm além da manifestação do defeito na superfície do

pavimento. Os retângulos envoltórios são marcados a giz e as dimensões dos defeitos são transcritas para formulário apropriado, conforme apresentado na **Figura 14**.

Sob o ponto de vista operacional, o Trecho Monitorado deverá estar interditado durante o levantamento, e os avaliadores deverão portar trena para locação dos defeitos de acordo com a **Figura 15**, bem como para a determinação das suas abrangências (áreas). Visando-se padronizar o trabalho em campo, deve-se utilizar a Planilha - Registro dos defeitos prospectados (F 10 - Ficha de Levantamento de Defeitos de Pavimentos).

[illegible]

Figura 15: Ficha para levantamento de defeitos da superfície do pavimento.

1.4.6.2. Avaliação da macrotextura e microtextura

Este aspecto da observação do trecho existente deixa de ser relevante em trechos que serão restaurados, a não ser o que problema intrínseco que leva à restauração seja a aderência em pista molhada. No entanto para fim de compor o banco de dados é importante sempre que possível realizar também estas medições. Estes procedimentos também serão importantes na fase de PÓS-EXECUÇÃO, na avaliação do trecho construído e monitorado.

A avaliação da macrotextura do revestimento deve ser realizada empregando o ensaio de mancha de areia (**Figura 16**), conforme preconizado pela ASTM E 965-06.

Caracteriza a superfície do pavimento quanto à sua capacidade de drenar a água confinada entre o pneu e o pavimento e quantifica a profundidade média entre os grãos individuais de agregados aflorados na superfície do pavimento. O ensaio consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido (de $25000 \text{ mm}^3 \pm 150 \text{ mm}^3$) de areia natural limpa e seca, de grãos arredondados. A areia é espalhada sobre a superfície seca do pavimento com auxílio de um disco de madeira, com movimentos circulares e uniformes, obtendo uma área final circular. Mede-se o diâmetro do círculo formado pela mancha obtida, em quatro direções; o diâmetro médio (D_m), é a média das quatro medições (**Figura 17** - F 12 - Determinação da Macrotextura Superficial de Pavimentos (Mancha de Areia)). A altura (HS) é expressa pela seguinte equação:

$$HS = \frac{4 \cdot V}{D_m^2 \times \pi} \quad (7)$$

onde: HS = altura média da mancha (mm)
V = volume de areia (25.000 mm^3)
 D_m = diâmetro médio da mancha (mm)




Figura 16: Exemplo de etapa do Ensaio de Mancha de Areia.

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006) apresenta os limites de macrotextura definidos em função do HS, conforme **Tabela 4**. A faixa recomendada para os trechos monitorados é $0,6 \text{ mm} \leq HS \leq 1,2 \text{ mm}$, ou seja, as superfícies devem apresentar textura média a grossa.

Tabela 4: Classes de macrotextura pelo método da Mancha de Areia (DNIT, 2006).

Classificação	Limites de HS
Muito Fina	< 0,20
Fina	0,21 - 0,40
Média	0,41 - 0,80
Grossa	0,81 - 1,20
Muito Grossa	> 1,20

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 12 - Determinação da Macrotextura Superficial de Pavimentos (Mancha de Areia) - ASTM E 965-06

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data do ensaio:
Pista:	Tipo de revestimento:	Executante:

RESULTADOS

Ponto da Pista	Volume de areia (mm ³)	Diâmetros (mm)	Diâmetro Médio (mm)	Área Média (mm)	Profundidade da Textura (mm)
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			
		1º:			
		2º:			
		3º:			
		4º:			

Observações:

Figura 17: Ficha para avaliação da macrotextura do pavimento - Ensaio de mancha de areia.

A avaliação da microtextura (função da aspereza do agregado) do revestimento deve ser realizada conforme ASTM E 303-08. O equipamento mais empregado é o Pêndulo Britânico, (**Figura 18**), composto por um pêndulo, cuja haste possui, em sua extremidade, uma sapata de borracha. Ao se soltar a haste do pêndulo, a sapata entra em contato com o pavimento em uma área previamente determinada. O valor de atrito medido é expresso em português como VRD (Valor de Resistência à Derrapagem). Os valores medidos devem ser anotados na ficha para avaliação da microtextura do pavimento (**Figura 19 - F 13 - Determinação da Microtextura Superficial de Pavimentos (Pêndulo Britânico)**).

Na **Tabela 5** são apresentados os valores de VRD em função das classes de microtextura. O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006) recomenda valores de VRD ≥ 55 , característica pelo menos rugosa.




Figura 18: Execução do ensaio com o Pêndulo Britânico.

Tabela 5: Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico (DNIT, 2006).

Classificação	Limites de VRD
Perigosa	< 25
Muito Lisa	25 - 31
Lisa	32 - 39
Insuficientemente Rugosa	40 - 46
Medianamente Rugosa	47 - 54
Rugosa	55 - 75
Muito Rugosa	> 75

Quando o revestimento asfáltico for composto por uma mistura aberta (CPA) ou descontínua (SMA) recomenda-se que deve ser realizado o ensaio de permeabilidade (**Figura 20 - F 14 - Determinação da Permeabilidade Superficial de Pavimentos - Método Espanhol**).

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 13 - Determinação da Microtextura Superficial de Pavimentos (Pêndulo Britânico) - ASTM E 303-08

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data do ensaio:
Pista:	Tipo de revestimento:	Executante:

RESULTADOS					
Ponto da Pista	Calibração Inicial (VRD)	Calibração Final (VRD)	Temperatura da Pista (°C)	Leitura do Atrito (BPN)	Cálculo do Atrito (BPN)
	1º:	1º:	1º:	1º:	
	2º:	2º:		2º:	
	3º:	3º:	2º:	2º:	
	4º:	4º:		3º:	
	5º:	5º:	3º:	3º:	
	6º:	6º:		4º:	
	7º:	7º:	4º:	4º:	
	8º:	8º:		5º:	
	9º:	9º:	5º:	5º:	
	10º:	10º:			
	1º:	1º:	1º:	1º:	
	2º:	2º:		2º:	
	3º:	3º:	2º:	2º:	
	4º:	4º:		3º:	
	5º:	5º:	3º:	3º:	
	6º:	6º:		4º:	
	7º:	7º:	4º:	4º:	
	8º:	8º:		5º:	
	9º:	9º:	5º:	5º:	
	10º:	10º:			
	1º:	1º:	1º:	1º:	
	2º:	2º:		2º:	
	3º:	3º:	2º:	2º:	
	4º:	4º:		3º:	
	5º:	5º:	3º:	3º:	
	6º:	6º:		4º:	
	7º:	7º:	4º:	4º:	
	8º:	8º:		5º:	
	9º:	9º:	5º:	5º:	
	10º:	10º:			

Observações:

Figura 19: Ficha para avaliação da microtextura do pavimento - Ensaio de Pêndulo Britânico.

Inserir a logo da Instituição executora

BR PETROBRAS

REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 14 - Determinação da Permeabilidade Superficial de Pavimentos

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data do ensaio:
Pista:	Tipo de revestimento:	Executante:

RESULTADOS						
Ponto da Pista	Altura Inicial (cm) - h1	Altura Final (cm) - h2	Tempo (s) - t	Diâmetro Interno Proveta (cm)	Diâmetro da Base (cm)	Permeabilidade (cm/s)
					1º:	
					2º:	
					3º:	
					4º:	
					1º:	
					2º:	
					3º:	
					4º:	
					1º:	
					2º:	
					3º:	
					4º:	
					1º:	
					2º:	
					3º:	
					4º:	
					1º:	
					2º:	
					3º:	
					4º:	
					1º:	
					2º:	
					3º:	
					4º:	

Observações:

Figura 20: Ficha para avaliação da permeabilidade do pavimento. Método Espanhol NLT 327 -88

1.4.6.3. Avaliação estrutural do pavimento

Conforme comentado, no início do item 1.4.6, a avaliação estrutural do pavimento pode ser por método destrutivo e não-destrutivo.

O método destrutivo consiste na abertura de furo ou poço que permita a caracterização física da estrutura do pavimento: camadas, espessuras e materiais que as compõem. Para coleta de amostras devem ser abertas trincheiras ao longo da pista, de acordo com a ABNT NBR 9604:1986 (**Tabela 2**). Os resultados desta sondagem, conforme já descrito no item 1.4, devem ser colocados no Boletim de sondagem e na Ficha de resultados de ensaios.

Amostras do revestimento pouco deteriorado, obtidas por extração com sonda rotativa (um CP a cada 3 estacas), serão identificadas com as características do revestimento: tipo, ligante, faixa granulométrica, propriedades volumétricas e mecânicas, submetidos aos ensaios da **Tabela 6** e anotados nas planilhas mostradas nas **Figuras 21 e 22** (F 15 - Ficha de Dados de Corpos de Prova Extraídos de Campo - Folhas 1 e 2). Os dados dos CPs devem ser armazenados nestes formulários específicos, juntamente com o croqui de localização dos furos.

[illegible]

Figura 21: Ficha de dados de CPs de misturas asfálticas extraídos de campo - Folha 1.

As espessuras das camadas podem ser determinadas com relativa precisão usando o GPR (*Ground Penetration Radar*), por propagação de ondas eletromagnéticas, que possibilita a determinação da estrutura do pavimento de forma contínua, melhorando a demarcação dos segmentos homogêneos e devem ser, sempre que possível, determinadas no início do projeto.

A avaliação não destrutiva é feita, como já mencionado, com medida de deflexões superficiais por carregamento conhecido, utilizando-se a Viga *Benkelman*, de preferência a eletrônica, ou o *FWD - Falling Weight Deflectometer*. A série histórica em cada trecho deve sempre ser feita com o mesmo equipamento. Ressalta-se que as medidas de deflexões, máximas e da bacia, deverão ser feitas em todas as faixas de rolamento do pavimento existente e a cada 20 metros, mantendo um *off-set* de 10 metros entre as medidas feitas nas diferentes faixas de rolamento, alternando-se as Trilhas interna e externa. Juntamente com as deflexões determinar as temperaturas do ar e do pavimento. Em geral, Viga eletrônica e *FWD* dispõem de termômetro para medir a temperatura próxima à superfície.

Os levantamentos de deflexões com Viga *Benkelman* devem seguir o prescrito pela norma DNIT ME xxx /2010 (antiga DNER ME 024/94 - Pavimento - Determinação das deflexões pela Viga *Benkelman*). Antes de cada levantamento, o equipamento deverá ser aferido, seguindo o disposto no DNIT PRO xxx /2010 (antiga DNER PRO 175/94 - Pavimento - Aferição de Viga *Benkelman*). No caso do uso de *FWD*, os levantamentos devem ser realizados de acordo com o procedimento DNIT PRO xxx /2010 (antiga DNER PRO 273/96 - Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo "*Falling Weight Deflectometer - FWD*").

A Viga eletrônica tem princípio de funcionamento semelhante à Viga *Benkelman* e, para realização das medidas, posiciona-se a ponta de prova do equipamento, onde está o medidor LVDT responsável pela medição dos deslocamentos, entre os pneus do eixo padrão. O caminhão entra em movimento e as leituras das deflexões são realizadas automaticamente pelo equipamento, com espaçamento de aproximadamente 5 cm.

As bacias deflectométricas devem ser retroanalizadas, de preferência pelo programa de retroanálise disponível no SisPav, e, adotando-se os MR determinados, as espessuras das camadas e os aspectos funcionais do levantamento de campo, compor o panorama para definição da solução a ser adotada, considerando possibilidades de fresagem, uso de geossintéticos, camadas antirreflexão de trincas de outros tipos etc. No caso do cálculo convencional da espessura de reforço pelos métodos em vigor no país, dar preferência ao procedimento DNER PRO 269-94.

1.5. DEFINIÇÃO FINAL DO TRECHO MONITORADO


Após a coleta dos dados preliminares, os dados básicos de identificação de cada trecho devem ser inseridos na ficha mostrada na **Figura 23** (F 16 - Ficha de Dados do Trecho Monitorado):

- Localização:
 - Município / Estado: nome do Município e sigla do Estado;
 - Nome da rua ou rodovia;
 - Estaca inicial (estaqueamento de 20 em 20 metros) ou km;
- Coordenadas (GPS);
- Extensão;
- Largura da faixa;
- Declividades, longitudinal e transversal;
- Tipo de seção: pavimento novo ou recapeamento;
- Drenagem: sim ou não; qual o tipo;
- Número N;
- PG (em função do clima);
- Tipos e espessuras das camadas (se o projeto do trecho foi fornecido pela empresa ou órgão parceiro).

As seções devem ser identificadas pela sigla da instituição executora, por um código composto da sigla **SEC** seguido do número da seção, pelo tipo de seção (**NOVO**, para pavimento novo ou **RECA**, para recapeamento) e pelo ano de execução. Por exemplo, seção 01 de um pavimento novo da UFRJ construído em 2010: **UFRJ-SEC 01-NOVO-2010**.

O Número da seção será fornecido pelo SRTA e será seqüencial para todas as instituições conjuntamente, ou seja, haverá somente uma seção com cada número. A vantagem será acompanhar a evolução do Banco de dados e da REDE à medida que novas instituições se agreguem.

Inserir a logo
da instituição
executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 16 - Ficha de Dados do Trecho Monitorado

Instituição responsável: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO		Identificação da seção: UFRJ-SEC 01-NOVO-2010	
LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO TRECHO MONITORADO			
Nome da rua, avenida ou rodovia:		Município / Estado:	Número N:
Tipo de seção:	Sentido:	PG (em função do clima):	Drenagem: () sim () não
Extensão:	Número de estacas:	Distância entre estacas:	Tipo de drenagem:
Início (km):	Estaca original:	Fim (km):	Estaca original:
GPS (coordenadas):	Estaca inicial:	GPS (coordenadas):	Estaca final:
Declividade transversal:	Inclinação longitudinal:	Número de faixas:	Largura de faixas:
CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO			
Tipo de revestimento:	Tipo de base:	Tipo de sub-base:	Tipo de reforço:
Espessura do revestimento:	Espessura de base:	Espessura de sub-base:	Espessura de reforço:
Material de imprimação:		Material de pintura de ligação:	
Acostamento: () sim () não	Largura do acostamento:	Tipo de material do acostamento:	

Figura 23: Ficha de dados das informações cadastrais de cada Trecho Monitorado.

2. ETAPA 1 - PRÉ-EXECUÇÃO

Na **etapa de pré-execução**, caso o trecho a ser construído seja de pavimento novo ou restaurado, serão coletados dados em três fases, como já definidas, sucintamente descritas a seguir:

- (i) **AMOSTRAS**: coleta, caracterização e avaliação dos materiais disponíveis para aplicação no pavimento por ensaios de laboratório realizados antes da construção, de acordo com o tipo de seção (pavimento novo ou recapeamento) selecionada e com as informações preliminares obtidas na Etapa 0 (dados de tráfego e clima);
- (ii) **MATERIAIS**: apresenta as combinações das diversas AMOSTRAS com os respectivos resultados de ensaios, o que inclui dosagem de misturas asfálticas, determinações de umidades e energias de compactação de solos, definição de proporções de misturas de solos/agregados, e demais combinações de AMOSTRAS que se fizerem necessárias;
- (iii) **ESTRUTURA**: definição das espessuras (dimensionamento) e do MATERIAL constituinte de cada camada, indicando-se o método utilizado para o dimensionamento, em função do tipo de seção, a partir de dados de tráfego, clima e informações detalhadas da via. Além disso, apresenta as atividades que devem ser executadas para a construção do Trecho Monitorado.

No caso de pavimentos a serem restaurados, os dados obtidos das camadas existentes no pavimento por sondagem destrutiva comporão o banco de dados de MATERIAIS e de ESTRUTURA. Somente será estudada como “amostras” os possíveis agregados e ligantes ou fresado, que depois de selecionados serão “materiais” dosados para compor a nova mistura asfáltica para o revestimento novo ou reciclado, a ser construído sobre o pavimento existente.

Devem ser estabelecidos para cada Trecho Monitorado, durante o projeto, limites de tolerância para MATERIAIS (dosagens, temperaturas, granulometria, módulos, teor de umidade, etc.) e ESTRUTURAS (espessuras de camadas, deflexões admissíveis, etc.), onde cabível.

2.1. AMOSTRAS


As amostras coletadas devem ser identificadas e acompanhadas de informações sobre cada material conforme ficha mostrada na **Figura 24** (F 17 - Ficha de Dados de Amostras). Estas informações serão utilizadas na dosagem e nas avaliações posteriores. Cada instituição executora deverá coletar amostras representativas dos materiais, em quantidades discriminadas a seguir, para caracterização, avaliação da qualidade e dosagem em laboratório, de acordo com o tipo de seção e de pavimento que será construído.

As amostras coletadas na etapa de pré-execução devem ser identificadas por um código **PRE** seguido da sigla da instituição executora, do tipo de material (**ASFA** para asfalto,

AGRE para agregados etc.), do número da amostra e do ano de coleta. Por exemplo, amostra 01 de asfalto da UFRJ coletada em 2010: **PRE-UFRJ-ASFA-01-2010**. Esta numeração das amostras também será gerada pelo SRTA no momento do seu cadastro.

As informações das amostras devem ser preenchidas em formulários específicos, constantes na forma digital em anexo a este Manual.

Inserir a logo
da instituição
executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 17 - Ficha de Dados de Amostras

Instituição responsável:		Sigla da instituição:
Etapa: () pré-execução () execução () pós-execução		
MATERIAL 1		
Tipo de amostra:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Data e hora de coleta do material:	Camada em que será aplicado:
MATERIAL 2		
Tipo de amostra:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Data e hora de coleta do material:	Camada em que será aplicado:
MATERIAL 3		
Tipo de amostra:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Data e hora de coleta do material:	Camada em que será aplicado:
MATERIAL 4		
Tipo de amostra:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Data e hora de coleta do material:	Camada em que será aplicado:
MATERIAL 5		
Tipo de amostra:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Data e hora de coleta do material:	Camada em que será aplicado:
MATERIAL 6		
Tipo de amostra:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Data e hora de coleta do material:	Camada em que será aplicado:
MATERIAL 7		
Tipo de amostra:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Data e hora de coleta do material:	Camada em que será aplicado:
MATERIAL 8		
Tipo de amostra:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Data e hora de coleta do material:	Camada em que será aplicado:

Figura 24: Ficha de identificação das amostras por Trecho Monitorado.

2.1.1. Asfalto - ASFA

O asfalto ou ligante asfáltico em geral é o utilizado na produção de uma mistura asfáltica a quente ou a frio em usina ou na aplicação de tratamentos superficiais, constituindo o revestimento asfáltico. Eventualmente também pode ser usado na base estabilizada. Neste caso devem ser listadas e recolhidas amostras das duas destinações.

Para cada seção monitorada deve ser coletada, para a ETAPA DE PRÉ- EXECUÇÃO, uma amostra de cerca de **40 litros** de asfalto (ligante asfáltico) para realizar a dosagem do revestimento. A amostra de ligante deve vir acompanhada pelo certificado de ensaio expedido pela empresa fornecedora, e deve conter algumas informações como: tipo, origem (refinaria), procedência (fornecedor: usina, empresa ou refinaria), data e hora de coleta da amostra, assim como suas características convencionais: ponto de amolecimento, viscosidade *Brookfield* (em três temperaturas: 135°C, 150°C e 165°C), penetração, densidade, IST etc. No caso de emulsões também devem ser coletadas as informações pertinentes.

Além da caracterização convencional, a amostra de ligante do tipo CAP deve ser avaliada e classificada pela especificação Superpave (cisalhamento dinâmico, rigidez a fluência, envelhecimentos de curto e de longo prazos).


Caso a instituição responsável pelo trecho não disponha dos equipamentos para a realização da especificação convencional ou da Superpave, deve enviar uma amostra representativa de **2 kg** (ou 1kg se for uma só) para a instituição designada para realizar tais caracterizações. Cada amostra de ligante asfáltico deve ser caracterizada com os métodos de ensaio listados na **Tabela 7** e na **Figura 25** (F 18a - Ficha de Caracterização de Materiais - Asfalto), independente das informações fornecidas no certificado. Para asfaltos modificados e emulsão asfáltica as planilhas estão no ANEXO DIGITAL como: F 18b - Ficha de Caracterização de Materiais - Asfalto Modificado, F 18c - Ficha de Caracterização de Materiais - Emulsão Asfáltica e F 18d - Ficha de Caracterização de Materiais - Emulsão Asfáltica Modificada.

Tabela 7: Lista de normas para ensaios nas amostras de asfalto (ASFA).

Código	Norma	Ensaio
ASFA 01	ABNT NBR 6293:2001	Materiais betuminosos - Determinação da ductilidade
ASFA 02	ABNT NBR 6560:2008	Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola
ASFA 03	ABNT NBR 6570:2010	Emulsões asfálticas - Determinação da sedimentação e estabilidade a estocagem
ASFA 04	ABNT NBR 6576:2007	Materiais asfálticos - Determinação da penetração
ASFA 05	ABNT NBR 11341:2008	Derivados de petróleo - Determinação do ponto de fulgor em vaso aberto de Cleveland
ASFA 06	ABNT NBR 15086:2006	Materiais betuminosos - Determinação da recuperação elástica pelo dutilômetro
ASFA 07	ABNT NBR 15166:2004	Asfalto Modificado - Ensaio de separação de fase
ASFA 08	ABNT NBR 15184:2004	Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperatura elevada usando um viscosímetro rotacional
ASFA 09	ABNT NBR 15235:2009	Materiais asfálticos - Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional
ASFA 10	ABNT NBR 15529:2007	Asfalto borracha - Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional
ASFA 11	AASHTO M 320-09	Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder (Determinação do Grau de Performance (PG) de ligantes asfálticos - Procedimento REDE)
ASFA 12	ABNT NBR-6296-04	Massa específica do Cimento Asfáltico de Petróleo
ASFA 13	ASTM D 6521-08	Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV) (Envelhecimento acelerado de ligantes asfálticos utilizando o vaso pressurizado de envelhecimento - PAV - Procedimento REDE)
ASFA 14	ASTM D 6648-08	Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR) (Determinação da rigidez flexural à fluência de ligantes asfálticos utilizando reômetro de Viga em flexão - BBR Procedimento REDE)
ASFA 15	ASTM D 7175-08	Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (Determinação das características reológicas de ligantes asfálticos utilizando o reômetro de cisalhamento dinâmico - DSR - Procedimento REDE)
ASFA 16	ASTM D 7405-08 Rev. A	Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (Fluência e Relaxação sob Múltipla Tensão - MSCR - Procedimento REDE)

Obs.: Utilizar sempre a versão mais recente em vigor. Deve-se verificar periodicamente se existem atualizações das normas.

Inserir a logo da Instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 18a - Ficha de Caracterização de Materiais - Asfalto

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data e hora de coleta do material:
Tipo de ligante:	Procedência:	Número da amostra:
Quantidade de material coletado:	Laboratório responsável pela execução dos ensaios:	

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO	Unidade	Resultados
Penetração, PEN, 100g, 5s, 25°C	ABNT NBR 6576:2007	0,1mm	
Ponto de amolecimento, PA	ABNT NBR 6560:2008	°C	
Viscosidade Saybolt-furol a 135°C	ABNT NBR 14950:2003	s	
Viscosidade Saybolt-furol a 150°C		s	
Viscosidade Saybolt-furol a 165°C		s	
Ponto de fulgor - Vaso aberto de Cleveland	ABNT NBR 11341:2004	°C	
Ductilidade a 25°C	ABNT NBR 6293/2001	cm	
Índice de suscetibilidade térmica - IST	$IST = \frac{500 \log PEN + 20 PA - 1951}{120 - (50 \log PEN) + PA}$	-	
Viscosidade Brookfield a 135°C	ABNT NBR 15184:2004	cP	
Viscosidade Brookfield a 150°C		cP	
Viscosidade Brookfield a 165°C		cP	
Recuperação elástica de ligante asfáltico	ABNT NBR 15086:2006	cm	
Cisalhamento dinâmico - Dynamic Shear Rheometer - DSR - amostra virgem	G*	kPa	
	G*/senδ (≥ 1,0kPa)	kPa	
	δ	graus	
	Temperatura	°C	
Efeito do calor e ar a 163°C - Rolling Thin-Film Oven Test - RTFOT - ABNT NBR 15235:2009			
Variação em massa	ABNT NBR 15235:2009	% massa	
Ductilidade a 25°C	ABNT NBR 6293:2001	cm	
Aumento do ponto de amolecimento	ABNT NBR 6560:2008	°C	
Penetração retida (*)	ABNT NBR 6576:2007	%	
Cisalhamento dinâmico - Dynamic Shear Rheometer - DSR - após RTFOT	G*	kPa	
	G*/senδ (≥ 2,2kPa)	kPa	
	δ	graus	
	Temperatura	°C	
MSCR	Jnr	kPa ⁻¹	
	% Def. recuperada	%	
	Temperatura	°C	
Envelhecimento acelerado de ligantes asfálticos - Pressurized Aging Vessel - PAV - ASTM D 6521-08			
Cisalhamento dinâmico - Dynamic Shear Rheometer - DSR - após PAV	G*	kPa	
	G* x senδ (≤ 5000kPa)	kPa	
	δ	graus	
Rigidez à fluência na flexão - Bending Beam Rheometer - BBR	m (> 0,300)	-	
	S (≤ 300MPa)	MPa	
PG (Performance Grade) de ligantes asfálticos	AASHTO M 320-09	PG	
	AASHTO M 320-09 - Tabela 3	PG	

(*) relação entre a penetração após o efeito do calor e do ar em estufa RTFOT e a penetração antes do ensaio.

Figura 25: Ficha de caracterização de materiais - Asfalto.

2.1.2. Agregados - AGRE

Os agregados podem ser empregados em camadas de revestimento asfáltico, base ou sub-base do pavimento. Na maioria das vezes são utilizados agregados britados. Neste caso, sempre que possível deve ser feita a petrografia da rocha de origem e documentar por fotos as pedreiras e as frentes de exploração na época, além de anotação do tipo de britador.

Quando empregado na camada de revestimento, para cada seção monitorada, depois de definido o tipo de mistura, devem ser coletadas amostras representativas de cada agregado (pelo menos **130 kg** de Brita 0; **130 kg** de Brita 1; **130 kg** de pedrisco e **200 kg** de pó de

pedra, **130 kg** de areia se for o caso, ou quantidades equivalentes de outros materiais) que serão utilizadas na caracterização e dosagem da mistura asfáltica ou tratamento superficial. Além disso, quando necessário, deve ser coletado o filer numa quantidade de pelo menos 100 kg se for filer mineral, ou especificado a marca e tipo do filer comercial (cal, cimento ou outro).

Quando o agregado for empregado na camada de base ou sub-base devem ser coletadas amostras de pelo menos **300 kg** de agregados para caracterização e avaliação de suas propriedades físicas. Deve-se tomar cuidado com a coleta de material de modo a atender à norma DNER-PRO 120-97, que fixa as exigências para amostragem de agregados em campo. Os agregados devem vir acompanhados com as seguintes informações: tipo da rocha de origem (basalto, granito etc.), origem (nome e local da pedreira), procedência (fornecedor: usina ou empresa) e data de coleta.

Os agregados de revestimento, base, sub-base e demais subcamadas granulares devem ser caracterizados por ensaios físicos e mecânicos de acordo com os métodos listados na **Tabela 8**. Quando os agregados se destinarem a compor uma mistura asfáltica utilizar os métodos indicados na ficha mostrada na **Figura 26** (F 19 - Ficha de Caracterização de Materiais - Agregados). Agregados para tratamentos superficiais devem ser analisados utilizando a maioria dos métodos já descritos para agregados de misturas usinadas, no entanto existem algumas especificidades, assim como para demais materiais reciclados, agregados alternativos, etc., que devem ser avaliados conforme métodos específicos não listados neste Manual. Devem ser considerados os ensaios típicos sugeridos pelo órgão parceiro.

Todos os materiais que se destinam a compor as camadas do pavimento que não seja o revestimento, e também os materiais do subleito, serão submetidos aos ensaios triaxiais de carga repetida para obtenção do módulo de resiliência como detalhado a seguir.

No caso de agregados alternativos, como a escória, por exemplo, devem ser executados ensaios químicos (ABNT NBR 10004:2004 - Resíduo Sólido), tais como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade (ensaio de lixiviação) e patogenicidade. Várias condições diferenciadas podem estar envolvidas no uso de materiais alternativos e estes estudos serão feitos em cada caso, atendendo condições particulares não expostas neste Manual.

Fichas a serem utilizadas nos ensaios de agregados da **Tabela 8** e constantes da ficha da **Figura 26** estão no ANEXO DIGITAL deste Manual:


- F 19 - Ficha de Caracterização de Materiais - Agregados
- F 20 - Determinação da Massa Específica e Absorção de Agregados Graúdos
- F 21 - Determinação da Massa Específica e Absorção de Agregados Miúdos
- F 22 - Determinação da Abrasão Los Angeles
- F 23 - Análise Granulométrica

- F 24 - Ficha de Ensaio de Angularidade de Agregado Miúdo
- F 25 - Determinação de Partículas Chatas e Alongadas em Agregados Graúdos
- F 26 - Determinação do Equivalente de Areia.

Tabela 8: Lista de normas para ensaios nas amostras de agregado (AGRE).

Código	Norma	Ensaio
AGRE 01	ASTM C 88-05	<i>Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate</i> (Determinação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio - Procedimento REDE)
AGRE 02	ASTM C 127-07	<i>Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate</i> (Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de agregados graúdos - Procedimento REDE)
AGRE 03	ASTM C 128-07 REV A	<i>Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate</i> (Determinação da massa específica de agregados miúdos - Procedimento REDE)
AGRE 04	ASTM C 131-06	<i>Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine</i> (Determinação da abrasão Los Angeles - Procedimento REDE)
AGRE 05	ASTM C 136-06	<i>Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates</i> (Análise granulométrica de agregados - Procedimento REDE)
AGRE 06	ASTM C 1252-06	<i>Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)</i> (Determinação da angularidade do agregado miúdo - Procedimento REDE)
AGRE 07	ASTM D 4791-07	<i>Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate</i> (Determinação da lameridade da fração graúda: partículas chatas e alongadas - Procedimento REDE)
AGRE 08	AASHTO T 176-08	<i>Standard Method of Test for Plastic Fines in Graded Aggregates and Soils by Use of the Sand Equivalent Test</i> (Determinação do equivalente de areia - Procedimento REDE)
AGRE 09	ABNT NBR NM 45:2006	Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios
AGRE 10	AASHTO T 326:2005	<i>Standard Method of Test for Uncompacted Void Content of Coarse Aggregate (As Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)</i> (Determinação da angularidade do agregado graúdo)
AGRE 11	DNER-ME 085-94	Determinação da massa específica real de material finamente pulverizado
AGRE 12	DNER ME 196-98	Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo
AGRE 13	DNER ME 197-97	Agregados - Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos
AGRE 14	DNER ME 397-99	Agregados - Determinação do índice de degradação Washington - IDW
AGRE 15	DNER ME 398-99	Agregados - Índice de degradação após compactação Proctor (IDP)
AGRE 16	DNER ME 399-99	Agregados - Determinação da perda ao choque no aparelho Treton
AGRE 17	DNER ME 400-99	Agregados - Desgaste após fervura de agregado petróleo natural
AGRE 18	ABNT NBR 14949:2003	Microrrevestimentos asfálticos - Caracterização da fração fina por meio da absorção de azul – de – metileno.
AGRE 19	DNER PRO 120-97	Coleta de amostras de agregados
AGRE 20	ABNT NBR 10004:2004	Análise ambiental Resíduo

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 19 - Ficha de Caracterização de Materiais - Agregados

Instituição responsável:		Identificação da seção:		Data e hora de coleta do material:	
Tipo de agregado:		Procedência:		Número da amostra:	
Camada em que será aplicado:		Faixa granulométrica:		Tamanho máximo nominal:	
Quantidade de material coletado:		Laboratório responsável pela execução dos ensaios:			
CARACTERÍSTICAS		MÉTODO	Unidade	Resultado	
Durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio		ASTM C 88-05			
Agregado graúdo	Massa específica	ASTM C 127-07	g/cm ³		
	Massa específica aparente		g/cm ³		
	Absorção		%		
Agregado miúdo	Massa específica	ASTM C 128-07 REV A	g/cm ³		
	Absorção		%		
Abrasão Los Angeles		ASTM C 131-06	%		
Análise granulométrica		ASTM C 136-06	F 21 - Análise Granulométrica		
Angularidade do agregado miúdo		ASTM C 1252/98	%		
Determinação de partículas chatas e alongadas		ASTM D 4791/07	%	1:3	
				1:5	
Equivalente areia		AASHTO T 176-08	%		
Determinação da massa unitária e do volume de vazios		ABNT NBR NM 45/2006			
Resistência mecânica pelo método dos 10% de finos		DNER-ME 096/98			
Índice de forma		ABNT NBR 7809/2006			
Material finamente pulverizado - determinação da massa específica real		DNER-ME 085/94			
Determinação do teor de umidade total, por secagem do agregado graúdo		DNER-ME 196/98			
Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos		DNER-ME 197/97			
Determinação do índice de degradação Washington - IDW		DNER-ME 397/99			
Determinação do índice de degradação após compactação Proctor - IDP		DNER-ME 398/99			
Determinação da perda ao choque no aparelho Treton		DNER-ME 399/99			
Desgaste após fervura de agregado pétreo natural		DNER-ME 400/99			
Determinação das propriedades geométricas dos agregados - Ensaio de azul de metileno		NF EN 933-9			

Figura 26: Ficha de caracterização de materiais - Agregados.

2.1.3. Solos - SOLO

Para cada seção experimental em que a alternativa for a construção de um pavimento novo devem ser coletados os materiais do subleito e de jazidas de solo que possam ser empregadas em camadas de reforço do subleito, base e sub-base, com ou sem aditivos, para caracterização e avaliação. **Devem ser coletadas amostras representativas de cada solo de cerca de 200 kg.** As amostras de solos devem vir acompanhadas das seguintes informações: tipo, origem (estaca do subleito, nome e localização da jazida, etc), data de coleta e coordenadas geográficas.

Os solos devem ser caracterizados de acordo com os métodos de ensaio listados na **Tabela 9 e Figuras 27 e 28** (F 27 - Resumo de Caracterização de Materiais - Solos - Folhas 1 e 2) quando pertinente em cada fase ou dependendo do tipo de material. Por exemplo, sempre que o solo do subleito disponível para camada for integralmente passante na peneira de 2,0 mm (Nº10) deve ser realizada a classificação MCT (DNER CLA 259-84) utilizando os ensaios: DNER 228-94, DNER 256-94 e DNER 258-94.

Tabela 9: Lista de normas para ensaios nas amostras de solo (SOLO).

Código	Norma	Ensaio
SOLO 01	DNER PRO 003-94	Coleta de amostras deformadas de solos
SOLO 02	DNER ME 041-94	Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização
SOLO 03	DNER ME 049-94	Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas
SOLO 04	DNER ME 080-94	Análise granulométrica por peneiramento
SOLO 05	DNER ME 082-94	Determinação do limite de plasticidade
SOLO 06	DNER ME 083-94	Solos - análise granulométrica por sedimentação
SOLO 07	DNER ME 087-94	Solos - Determinação dos fatores de contração
SOLO 08	DNER ME 092-94	Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia
SOLO 09	DNER ME 093-94	Determinação da densidade real
SOLO 10	DNER ME 122-94	Determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito
SOLO 11	DNER ME 129-94	Compactação utilizando amostras não trabalhadas
SOLO 12	DNIT xxx /2009 (antiga DNER ME 131/94)	Determinação do módulo de resiliência de solos
SOLO 13	Procedimento REDE 02/2010	Determinação da deformação permanente e acomodamento de solos
SOLO 14	DNER ME 201-94	Solo-cimento - compressão axial de corpos de prova cilíndricos
SOLO 15	DNER ME 202-94	Solo-cimento - moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos
SOLO 16	DNER ME 213-94	Determinação do teor de umidade
SOLO 17	DNER ME 228-94	Compactação em equipamento miniatura
SOLO 18	DNER ME 256-94	Solos compactados com equipamento miniatura: determinação da perda de massa por imersão
SOLO 19	DNER ME 258-94	Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-MCV
SOLO 19	DNER CLA 259-96	Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura
SOLO 20	DNER PRO 003-94	Coleta de amostras deformadas de solos
SOLO 21	ABNT NBR 14949:2003	Microrrevestimentos asfálticos - Caracterização da fração fina por meio da absorção de azul - de - metileno
SOLO 22	DNER ME 180-94	Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada - Determinação da resistência a compressão simples
SOLO 23	DNER ME 181-94	Solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada - determinação da resistência à tração por compressão diametral
SOLO 24	Procedimento REDE 03/2010	Módulo de Resiliência de solos e materiais não estabilizados quimicamente

As seguintes fichas de ensaios para caracterização de solos estão disponíveis no ANEXO DIGITAL:

- F 27 - Resumo de Caracterização de Materiais - Solos - Folhas 1 e 2;
- F 28 - Ficha de Caracterização de Materiais - Solos - Folhas 1, 2, 3 e 4;
- F 29 - Análise Granulométrica por Peneiramento;

-
- F 30 - Análise Granulométrica por Sedimentação - Folhas 1 e 2;
 - F 31 - Determinação do Limite de Plasticidade e do Limite de Liquidez;
 - F 32 - Determinação da Densidade *In Situ* - Método do Frasco de Areia;
 - F 33 - Ensaio de Compactação;
 - F 34 - Determinação do Índice de Suporte Califórnia (CBR);
 - F 35 - Mini-MCV - DNER ME 258/94 - Folhas 1 e 2;
 - F 36 - Determinação dos Fatores de Contração de Solos;
 - F 37 - Determinação da Densidade Real;
 - F 38 - Determinação da Resistência a Compressão Simples;
 - F 39 - Determinação do Módulo de Resiliência de Solos.

Inserir a logo da Instituição executora

BR PETROBRAS

REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 27 - Resumo de Caracterização de Materiais - Solos - Folha 1

Instituição responsável:		Identificação da seção:	
Etapa: () pré-execução () execução () pós-execução		Data da coleta do solo:	
Tipo de solo ensaiado (subleito ou jazida):		Sistema de referência utilizado (SIRGAS):	
Latitude:	Longitude:	Profundidade de coleta:	
Classe pedológica:			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA			
PROPRIEDADES	Método	Amostra 1	Amostra 2
% # 2" (50,8 mm)	DNER ME 051/1994 e DNER ME 080/1994		
% # 1" (25,4 mm)			
% # 3/8" (9,5 mm)			
% # N 4 (4,76 mm)			
% # N 10 (2 mm)			
% # No 16 (1,19 mm)			
% # N 30 (0,59 mm)			
% # N 40 (0,42 mm)			
% # N 50 (0,297 mm)			
% # N 100 (0,149 mm)			
% # N 200 (0,074 mm)			
0,05 mm			
0,005 mm			
0,002 mm			


ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO			
Densidade real (g/cm³)	DNER ME 093/1994		
Limite de Liquidez (%)	DNER ME 122/1994		
Índice de Plasticidade (%)			
Limite de Plasticidade (%)	DNER ME 082/1994		
Índice de Grupo (IG)			
Classificação HRB			
Classificação USCS			

CLASSIFICAÇÃO MCT			
Classe MCT	DNER CLA 259/1996		
c'			
d'			
e			
Pi			

ENSAIO DE PASTILHAS MCT			
Classe MCT - Pastilhas	DNER ME 256/1994		
Contração diametral (mm)			
Penetração (mm)			

Figura 27: Ficha de caracterização de materiais - Solos - Folha 1.

Inserir a logo da Instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 27 - Resumo de Caracterização de Materiais - Solos - Folha 2

Instituição responsável:		Identificação da seção:	
Etapa: () pré-execução () execução () pós-execução		Data da coleta do solo:	
Tipo de solo ensaiado (subleito ou jazida):		Sistema de referência utilizado (SIRGAS)	
Latitude	Longitude	Profundidade de coleta	
Classe pedológica			

PROPRIEDADES		Método	Amostra 1	Amostra 2
ENSAIO DE COMPACTAÇÃO PROCTOR				
Energia de compactação				
Massa específica aparente seca (g/cm³)				
Umidade ótima (%)				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO CBR				
Energia de compactação		DNER ME 049/1994		
Índice de Suporte Califórnia - CBR (%)				
ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA				
Energia de compactação				
Modelo Composto (MR, σ_d e σ_3 em MPa) $MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_1^{k_3}$	K1	DNIT xxx / 2010 (antiga DNER ME 131/1994) e SOLO 25		
	K2			
	K3			
	σ_3			
	σ_1			
	σ_d			
	R²			
ENSAIOS DE MISTURAS ESTABILIZADAS				
Tipo de Estabilizante				
Teor Ótimo do Estabilizante				
Energia de compactação				
Massa específica aparente seca (g/cm³)				
Umidade ótima (%)				
Tempo de cura				
Resistência à Compressão Simples - RCS (MPa)				
Resistência à Tração - RT (MPa)				

Figura 28: Ficha de caracterização de materiais - Solos - Folha 2.

Para a coleta dos solos do subleito devem ser realizados três furos no subleito do trecho e executados ensaios para verificar as características físicas e mecânicas dos materiais coletados, como: análise granulométrica, $\gamma_{s\text{máx}}$, h_{ot} , compactação, CBR, módulo resiliente (MR) e deformação permanente, na energia de compactação estipulada no projeto.

Conforme já mencionado, caso a seção experimental seja de recapeamento, devem ser recolhidas amostras significativas de todas as camadas do pavimento (**40 kg de cada camada**), através de poço de sondagem, para serem submetidas aos ensaios de solos apresentados na **Tabela 8**. Na abertura do poço de sondagem deve ser realizado no topo de cada camada o ensaio de frasco de areia e coletada amostra para ensaio de umidade no laboratório. Neste caso devem ser levados ao campo recipientes que possam ser

hermeticamente fechados para evitar perda de umidade no transporte das amostras. Além disso, quando a seção experimental for de recapeamento, deve ser realizado no solo de subleito e do reforço de subleito, caso exista, o ensaio de sedimentação (DNER ME 081-94). Os ensaios de Módulo de Resiliência, MR, dos solos do subleito e dos solos e materiais das outras camadas do pavimento, de cada segmento, devem ser realizados na umidade ótima e massa específica máxima, obtidas no ensaio de compactação correspondente às seguintes energias:

- subleito e camada final de terraplenagem: energia Proctor Normal para baixo volume de tráfego e energia Proctor Intermediário a partir de tráfego médio;
- reforço de subleito e sub-base - energia Proctor Intermediário em geral, em alguns casos energia Proctor Modificado também pode ser aconselhável - anotar sempre a utilizada;
- base - energia Proctor Modificado.

Sempre que possível, determinar a curva de compactação utilizando o próprio cilindro destinado à preparação do corpo de prova para o ensaio de Módulo de Resiliência. Detalhes do cálculo da energia equivalente estão no Procedimento REDE 03/2010 - Ensaio de módulo de resiliência de solos, no ANEXO DIGITAL. Para materiais com tamanho nominal máximo de grão até 25,4 mm (1in) pode-se utilizar cilindro de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Para materiais com tamanho nominal máximo de grão de 38,7 mm (1,5 in), utilizar cilindro de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura tanto na curva de compactação quanto na preparação dos CPs para o ensaio de módulo de resiliência. A expressão do ensaio de módulo de resiliência deve ser feita pelo modelo composto:

$$MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_1^{k_3} \quad (8)$$

2.1.4. Aditivos - ADIT

Para cada seção monitorada que for usar eventualmente algum aditivo especial, em quaisquer das camadas do pavimento, deve ser definido: tipo, fornecedor e quantidade de aditivos que serão utilizados na dosagem dos materiais e misturas, com uma breve descrição do objetivo da utilização destes aditivos.

As amostras do (s) aditivo (s) devem vir acompanhadas com as seguintes informações: tipo, origem, fornecedor, data de validade, periculosidade, cuidados especiais no manuseio, e recomendações básicas sobre a sua aplicação.

2.1.5. Fibras - FIBR

Para cada seção monitorada que eventualmente for empregar algum tipo de fibra em uma das suas camadas devem ser definidos: tipo, fornecedor e quantidade de fibras necessárias para a dosagem dos materiais e misturas. As amostras da(s) fibra(s) devem vir acompanhadas com as seguintes informações: tipo, origem, fornecedor, data de validade, periculosidade, cuidados especiais no manuseio, e recomendações básicas sobre a sua aplicação.

2.1.6. Melhoradores de Adesividade - DOPE

Para cada melhorador de adesividade (dope) devem ser definidos: tipo, origem, fornecedor, data de validade, periculosidade, cuidados especiais no manuseio, e recomendações básicas sobre a sua aplicação. O tipo de dope deve atender as especificações listadas na **Tabela 10**.

Tabela 10: Lista de normas para ensaios de melhoradores de adesividade (DOPE).

Código	Norma	Ensaio
DOPE 01	ABNT NBR 15528:2007	Aditivos orgânicos melhoradores de adesividade para cimento asfáltico de petróleo - Avaliação para recebimento
DOPE 02	ABNT NBR 15618:2008	Avaliação por desempenho de aditivos orgânicos melhoradores de adesividade

2.2. MATERIAIS

A presente seção consiste em definir as características de projeto/dosagem de cada camada do Trecho Monitorado, considerando os materiais disponíveis na região (**Figuras 29 e 30 - F 40 - Ficha de Identificação de Materiais das Camadas - Folhas 1 e 2**).

Os passos a serem seguidos estão resumidos a seguir:

- Seleção de amostras disponíveis na região para reforço do subleito. As amostras devem ser coletadas para avaliação, caracterização e dosagem, quando for necessário realizar algum tipo de mistura ou estabilização, de acordo com o item anterior deste Manual. O tipo selecionado após caracterização e comparação com especificações passa a ser o material de reforço a ser usado e registrado no SRTA.
- Seleção de jazida para sub-base. Deve ser realizada coleta de amostras disponíveis na região para avaliação, caracterização e dosagem quando for necessário realizar algum tipo de mistura ou estabilização (uso de resíduos ou rejeitos, estabilização granulométrica por mistura, solo-brita, coesivas de solo laterítico, etc.), como comentado no item anterior deste Manual e o interesse do projetista. O tipo selecionado após caracterização e comparação com especificações passa a ser o material de sub-base a ser usado e registrado no SRTA.
- Seleção do tipo de amostra para base (granular, coesiva, com uso de resíduos ou rejeitos, ou estabilizada quimicamente), de acordo com a disponibilidade local e volume de tráfego. O tipo selecionado após caracterização e comparação com especificações passa a ser o material de base a ser usado e registrado no SRTA.
- Caso seja necessário, fazer seleção e coleta de amostras dos materiais asfálticos para pintura de ligação e imprimação (emulsão asfáltica ou asfalto diluído);
- Definição de tipo de revestimento em função das características do tráfego e do interesse da pesquisa. Coleta de amostras de agregados para dosagem da mistura asfáltica e definição do teor de projeto e dos parâmetros mecânicos e volumétricos da mistura. Verificação da necessidade de aplicar camada de ligação (caso de recapeamento);
- Caracterização mecânica de todos os materiais selecionados e execução de ensaios de laboratório pertinentes, listados por camada a seguir.

Inserir a logo da instituição executora

BR PETROBRAS

REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 40 - Ficha de Identificação de Materiais das Camadas - Folha 1

Instituição responsável:	Sigla da instituição:
Extensão do trecho (comprimento x largura):	Identificação da seção:
Etapa: <input type="checkbox"/> pré-execução <input type="checkbox"/> execução <input type="checkbox"/> pós-execução	Obs:

CAMADA 1: REVESTIMENTO ou CAPA


Tipo de mistura asfáltica:	Faixa granulométrica:	Diâmetro máximo nominal (mm):	
Tipo de ligante:	Procedência:	Teor de ligante:	Quantidade total (t):
Agregado 1:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 2:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 3:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 4:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 5:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Temperatura do ligante (°C):	Temperatura da mistura (°C):	Temperatura de compactação (°C):	
Volume de vazios:	Densidade máxima medida, Gmm:	Massa específica aparente, Gsb:	

CAMADA 2: CAMADA DE LIGAÇÃO

Tipo de mistura asfáltica:	Faixa granulométrica:	Diâmetro máximo nominal (mm):	
Tipo de ligante:	Procedência:	Teor de ligante:	Quantidade total (t):
Agregado 1:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 2:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 3:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 4:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 5:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Temperatura do ligante (°C):	Temperatura da mistura (°C):	Temperatura de compactação (°C):	
Volume de vazios:	Densidade máxima medida, Gmm:	Massa específica aparente, Gsb:	

Figura 29: Ficha de identificação dos materiais das camadas - Folha 1.

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 40 - Ficha de Identificação de Materiais das Camadas - Folha 2

Instituição responsável:		Sigla da instituição:	
Extensão do trecho (comprimento x largura):		Identificação da seção:	
Etapa: <input type="checkbox"/> pré-execução <input type="checkbox"/> execução <input type="checkbox"/> pós-execução		Obs:	

CAMADA 3: BASE

Tipo de base:			
Material 1:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Material 2:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Material 3:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):

CAMADA 4: SUB-BASE

Tipo de sub-base:			
Material 1:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Material 2:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Material 3:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):

CAMADA 5: REFORÇO DO SUBLEITO

Material 1:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Material 2:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Material 3:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):

CAMADA 6: PINTURA DE LIGAÇÃO

Material:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
-----------	-------------	-----------------	-----------------------

CAMADA 7: IMPRIMAÇÃO

Material:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
-----------	-------------	-----------------	-----------------------

CAMADA 8: OUTRAS

Material:	Procedência	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
-----------	-------------	-----------------	-----------------------


Figura 30: Ficha de identificação dos materiais das camadas - Folha 2.

2.2.1. Revestimento Asfáltico

O revestimento ou capa de rolamento pode ser produzido de duas maneiras principais: por penetração ou por mistura. Os revestimentos por penetração são aqueles executados através de uma ou mais aplicações de material asfáltico e de mesmo número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. No revestimento por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material asfáltico, antes da compressão, geralmente feito em usina, podendo ser a quente ou a frio, em função do tipo de material asfáltico selecionado.

O principal tipo de revestimento por penetração é o **Tratamento Superficial** (TS - F 41 - Ficha de Características do Revestimento - Tratamento Superficial, **Figura 31**), que pode ser **Simple** (TSS), **Duplo** (TSD) ou **Triplo** (TST). Os principais tipos de revestimento asfáltico usinado são (F 42 - Ficha de Características do Revestimento - Misturas Usinadas, **Figura 32**): **Concreto Asfáltico** (CA), **Pré-Misturado a Frio** (PMF), **Areia-Asfalto a Quente** (AAQ), **Stone Matrix Asphalt** (SMA), **Camada Porosa de Atrito** (CPA) e o **Gap-Graded** (GG).

Inserir a logo da Instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 41 - Ficha de Características do Revestimento - Tratamento Superficial

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data da dosagem:
Tipo de tratamento superficial: () TSS () TSD () TST () n	Faixa granulométrica:	

PROPRIEDADES DAS CAMADAS

CAMADA 1

Tipo de agregado:	Faixa granulométrica:	Tamanho máximo nominal (mm):	
Tipo de emulsão:	Procedência:	Taxa de emulsão:	Quantidade total (t):
Taxa de agregado			

CAMADA 2

Tipo de agregado:	Faixa granulométrica:	Tamanho máximo nominal (mm):	
Tipo de emulsão:	Procedência:	Taxa de emulsão:	Quantidade total (t):

CAMADA 3

Tipo de agregado:	Faixa granulométrica:	Tamanho máximo nominal (mm):	
Tipo de emulsão:	Procedência:	Taxa de emulsão:	Quantidade total (t):

CAMADA 4

Tipo de agregado:	Faixa granulométrica:	Tamanho máximo nominal (mm):	
Tipo de emulsão:	Procedência:	Taxa de emulsão:	Quantidade total (t):

AGREGADOS

Agregado 1:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 2:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 3:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 4:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):
Agregado 5:	Procedência:	Quantidade (%):	Quantidade total (t):

Obs:
 - adesividade subjetiva
 - adição de água

Figura 31: Ficha de Características do Revestimento - Tratamento Superficial.

[illegible]

Figura 32: Ficha de Características do Revestimento - Misturas Usinadas.

O tipo de revestimento mais adequado para cada pavimento varia, principalmente, em função do tráfego, do tipo de pavimento (novo ou recapeamento) e dos materiais disponíveis para sua produção. Também existe influência da cultura local do órgão. No caso dos trechos monitorados, a instituição executora poderá definir juntamente com seus parceiros (empresa ou órgão rodoviário) qual o revestimento que será aplicado no trecho a ser executado.

Após a **seleção do tipo de revestimento** deve ser realizado o projeto de dosagem da mistura ou misturas asfálticas que irão compor o mesmo, de acordo com a norma específica (**Tabela 11**).


Tabela 11: Tipos de revestimentos (REVES) e ensaios de misturas (MIST).

Código	Norma	Especificação de serviço
REVES 01	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 308/97)	Tratamento Superficial Simples (TSS)
REVES 02	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 309/97)	Tratamento Superficial Duplo (TSD)
REVES 03	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 310/97)	Tratamento Superficial Triplo (TST)
REVES 04	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 314/97)	Lama Asfáltica (LA)
REVES 05	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 317/97)	Pré-misturado a frio (PMF)
REVES 06	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 386/99)	Camada Porosa de Atrito (CPA)
REVES 07	DNIT ES 035/2005	Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF)
REVES 08	DNIT ES 031-06	Concreto Asfáltico (CA)
REVES 09	DNIT ES 032-06	Areia-asfalto a quente (AAQ)
REVES 10	AASHTO MP 325-08	<i>Stone Matrix Asphalt</i> (SMA)
REVES 11	AFNOR NF P98-137	<i>Béton Bitumineux Très Mince</i> (Concreto Betuminoso Muito Delgado) (BBTM - Procedimento REDE)
REVES 12	AFNOR NF P98-140	<i>Enrobés à Module Eleve</i> (Misturas de Módulo Elevado - EME - Procedimento REDE)
REVES 13	CALTRANS SSP 39-700 A-10-01-01	<i>Gap-graded</i> (GG) - California Department of Transportation, "Standard Special Provisions" (Procedimento REDE)
MIST 03	ABNT NBR 12891:1993	Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall
MIST 04	ABNT NBR 15617:2008	Determinação do dano por umidade induzida de misturas asfálticas
MIST 05	AASHTO R 35-09	<i>Superpave Volumetric Design for Hot Mix Asphalt (HMA)</i> (Dosagem SUPERPAVE - Procedimento REDE)
MIST 06	AASHTO T 19-09	<i>Bulk Density and Voids in Aggregate</i> (Procedimento REDE)
MIST 07	ABNT NBR 15785:2010	Misturas asfálticas a quente - Utilização da aparelhagem Marshall para preparação dos corpos de prova com diferentes dimensões e aplicações
MIST 08	ABNT NBR 157xx:2010	Preparação de corpos de prova com compactador giratório

No caso de misturas asfálticas, o projeto deve apresentar informações sobre: **método de dosagem** (Marshall ou Superpave), **tipo de compactação empregada** (compactador Marshall ou giratório) na preparação dos CPs, número de golpes ou de giros, e parâmetros volumétricos e mecânicos básicos das misturas, conforme apresentado na **Figura 33 (F 43 - Ficha de Dados da Mistura Asfáltica)**.

O projeto de dosagem de uma mistura asfáltica usinada a quente pode ser realizado a partir de dois métodos de dosagem: **Marshall** (ABNT NBR 12891:1993) ou **Superpave** (AASHTO R 35-09, e consultada a especificação AASHTO M 323-07). Sempre que possível dar preferência para a dosagem Superpave com uso do compactador giratório. No caso de dosagem Marshall, a instituição executora deve ter o auxílio de outra instituição parceira para fazer ensaios mecânicos de verificação da dosagem, como descrito a seguir.

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 43 - Ficha de Dados da Mistura Asfáltica

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data da dosagem:
Tipo de mistura asfáltica:	Faixa granulométrica:	Tamanho máximo nominal (mm):
Tipo de ligante:	Temperatura do ligante (°C):	Temperatura da mistura (°C):
Temperatura de compactação (°C):	Temperatura dos agregados (°C):	Teor de ligante provável:
Método de dosagem: () Marshall - ABNT NBR 12891/1993 () Superpave - AASHTO M 323/2007	Tipo de compactador: () Marshall - ABNT NBR 15785/2010 () Giratório	Número de golpes ou giros: () golpes () giros

Quantidade de massa para cada CP, em função do teor de ligante.

Materiais	% retida	Teor de ligante (%)					Teor de projeto
Material 1							
Material 2							
Material 3							
Material 4							
Ligante							
Outros							
Total							

Quantidade de massa para determinar a densidade máxima medida, G_{mm} , em função do teor de ligante.

Materiais	% retida	Teor de ligante (%)					Teor de projeto
Material 1							
Material 2							
Material 3							
Material 4							
Ligante							
Outros							
Total							

RESUMO DA DOSAGEM

Teor de Ligante (%)	Massa específica aparente, MEA	Densidade máxima medida, G_{mm}	Volume de vazios, %	RBV	VAM	MR (MPa)	RT (MPa)

Figura 33: Ficha de dados de dosagem da mistura asfáltica.

Para realizar a dosagem da mistura asfáltica deve ser separado material suficiente para moldar um corpo de prova de cada vez caso seja feita a mistura Manualmente. Na dosagem Marshall (**Figura 34 - F 44 - Ficha de Dosagem de Mistura Asfáltica - Método Marshall - ABNT NBR 12891:93 - Folhas 1, 2 e 3**), a quantidade para moldar um CP é cerca de 1200 g, com dimensões de 100 mm de diâmetro e $63,5 \text{ mm} \pm 1,3 \text{ mm}$ de altura. Devem ser preparados materiais para moldar 15 CPs (3 CPs em cada teor de ligante tentativo, sendo 5 teores de ligante).

Se a dosagem for Superpave (**Figura 35 - F 45 - Ficha de Dosagem de Mistura Asfáltica - Método Superpave - AASHTO R 35-09 - Folhas 1 e 2**), a quantidade de material por corpo de prova varia de 4500 a 4700 g, dependendo da massa específica dos agregados. São

necessários 3 CPs em cada teor de ligante, sendo 4 teores de ligante (no total de 12 CPs) por dosagem, com 150 mm de diâmetro e altura entre 110 mm e 120 mm. As normas ABNT NBR 15785:2010 e ABNT xxx /2010 - de preparação de CPs devem ser seguidas.

[illegible]

Figura 34: Ficha de dosagem de mistura asfáltica - Método Marshall - Folhas 1, 2 e 3.

Tabela 12: Exemplo de faixa de trabalho e limites da especificação para misturas do tipo *Gap Graded*.

Peneira		Brita 1		Pedrisco		Pó de Pedra		Cal		Especificação	Faixa de trabalho (P)
#	mm	P _A	P _{A.a}	P _B	P _{B.b}	P _C	P _{C.c}	P _D	P _{D.d}		
1"	25,4	100,0	31,0	100,0	50,0	100,0	17,5	100,0	1,5	100	100,0
3/4"	19,1	98,7	30,6	100,0	50,0	100,0	17,5	100,0	1,5	95-100	99,6
1/2"	12,7	46,6	14,4	99,9	49,9	100,0	17,5	100,0	1,5	83-87	83,4
3/8"	9,52	19,2	5,9	89,4	44,7	100,0	17,5	100,0	1,5	65-70	69,6
Nº 4	4,75	3,0	0,9	19,2	9,6	98,6	17,3	98,0	1,5	28-42	29,3
Nº 8	2,36	1,4	0,4	3,5	1,7	88,6	15,5	98,0	1,5	14-22	19,2
Nº 200	0,075	0,6	0,2	0,8	0,4	9,7	1,7	90,0	1,4	0-6	3,6

No caso de misturas densas, deve ser utilizado o **Método Bailey** para verificar se a proporcionalidade da granulometria selecionada, com agregados disponíveis, resulta em um esqueleto pétreo com característica adequada de graduação dentro de critérios estabelecidos no método para misturas asfálticas tipo concreto asfáltico ou SMA. Para aplicar o Método de Bailey deve ser seguido o Procedimento REDE 08/2010 - Método Bailey, anexo a este Manual, baseado nas publicações TRB E-C124 e Vavrik *et al* (2002), e na norma AASTHO T19-09.

O Método Bailey é uma forma de seleção granulométrica que orienta a escolha da composição dos agregados buscando um esqueleto mineral adequado. Com a distribuição granulométrica dos agregados, das massas específicas e das massas específicas, solta e compactada, avalia-se a seleção encaixando-a num esqueleto "ideal": assegura a resistência à deformação permanente pelo intertravamento dos agregados graúdos e a durabilidade pelo teor de ligante adequado devido à obtenção de uma adequada distribuição de vazios.

O método está diretamente ligado às características de compactação de cada fração de agregado da mistura, com os vazios no agregado mineral (VAM) e com os vazios da mistura (V_a). Seleciona uma estrutura de agregados buscando maior intertravamento dos agregados graúdos e pode ser usado com metodologia de dosagem Superpave ou Marshall.

O intertravamento dos agregados é dado de entrada para os cálculos do Método Bailey, obtido através dos ensaios de massa específica solta e compactada (AASHTO T 19-09 - *Bulk Density and Voids in Aggregate*). São determinados parâmetros para analisar toda a estrutura de agregados e balizar a composição da mistura chamados: proporção de agregados graúdos (Proporção AG), proporção graúda dos agregados finos (Proporção GAF) e proporção fina dos agregados finos (Proporção FAF), determinados a partir de algumas peneiras de controle adotadas pelo método. Recomendações de valores máximos e mínimos de cada proporção visam assegurar o melhor intertravamento dos agregados, porém esses podem ser ajustados com a finalidade de aumentar ou diminuir os vazios no agregado mineral e restringir a possibilidade de segregação da mistura. Os detalhes de aplicação deste método estão descritos no Procedimento REDE 08/2010 - Método Bailey, disponível no ANEXO DIGITAL.

Após a moldagem dos CPs, devem ser determinadas as **características volumétricas** (volume de vazios, RBV, VAM, massa específica aparente (G_{sb}) e densidade máxima da mistura (G_{mm})) e mecânicas (módulo de resiliência, MR e resistência à tração, RT) de cada CP, conforme mostra a **Tabela 13**. As seguintes fichas de ensaio para determinar as características volumétricas e mecânicas estão disponíveis no ANEXO DIGITAL:

- F 46 - Determinação da densidade máxima de misturas betuminosas não compactadas;
- F 47 - Determinação das dimensões dos corpos de prova;
- F 48 - Determinação da massa específica aparente de misturas betuminosas;
- F 49 - Ficha de caracterização mecânica de misturas asfálticas;
- F 50 - Determinação do módulo resiliente de misturas asfálticas;
- F 51 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral;
- F 52 - Determinação do módulo dinâmico de misturas asfálticas;
- F 53 - Determinação do desgaste por abrasão Cantabro;
- F 54 - Determinação da resistência ao dano causado por umidade induzida em misturas betuminosas.

Tabela 13: Parâmetros volumétricos e mecânicos, em função do teor de ligante, obtidos na dosagem das misturas asfálticas.

Teor de Ligante (%)	G_{mb}	G_{mm}	V_v ou V_a	VAM	RBV	MR	RT
$P_a - 1,0\%$	$G_{mb} = \frac{P_{ar}}{P_{sat} - P_{água}}$	Ensaio "Rice"	$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$	$VAM = 100 - \left(\frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}} \right)$	$RBV = \frac{100 \times (VAM - V_a)}{VAM}$	Ensaio	Ensaio
$P_a - 0,5\%$							
P_a							
$P_a + 0,5\%$							
$P_a + 1,0\%$							

Para mistura densa e bem graduada, o teor de projeto deve ser determinado em função do **volume de vazios de 4%**, estando verificados os demais parâmetros volumétricos. Para outros tipos de mistura a metodologia de dosagem deve seguir o procedimento específico conforme Tabela 10.

É importante lembrar que antes da compactação dos CPs, independente do tipo de compactador, a mistura deve ser condicionada em estufa na temperatura de compactação $\pm 3^\circ\text{C}$ por um período de $2h \pm 10$ minutos, de acordo com ABNT NBR 15785:2010 e a AASHTO R 30-02-06.

2.2.1.2. Preparação dos CPs

Após definição do **teor ótimo de ligante** (teor de projeto), devem ser moldados, no caso de misturas densas, **27 CPs** de 100 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura, no teor de projeto, para a determinação dos **parâmetros mecânicos**: MR, RT, fadiga e **ensaio de dano por umidade induzida** (ABNT NBR 15617:2008). Os resultados serão relatados na ficha de dados de caracterização mecânica de misturas asfálticas (F 49 - Ficha de Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas), dada no ANEXO DIGITAL deste Manual. Antes da

compactação dos CPs, as misturas devem ficar acondicionadas em estufa na temperatura de compactação $\pm 3^{\circ}\text{C}$ por um período de $2\text{ h} \pm 10$ minutos.

Quando for utilizado o compactador giratório na moldagem devem ser moldados 3 CPs de 100 mm de diâmetro e 150 mm de altura para a realização dos ensaios **Flow Number** - FN (segundo Procedimento REDE 05/2010, disponível no ANEXO DIGITAL) e **Módulo Dinâmico** – MD (F 52 - Determinação do Módulo Dinâmico de Misturas Asfálticas). Nas Tabelas 14 e 15 são apresentadas as quantidades e as características dos CPs que devem ser moldados com compactador Marshall ou com compactador giratório. Para as misturas especiais (CPA, SMA, *gap graded* etc.), o número de CPs a serem moldados deve ser quantificado em função dos ensaios constantes nas especificações.

Tabela 14: Características dos CPs moldados com compactador Marshall para cada ensaio.

Ensaio	Quantidade de CPs	Volume de vazios	Condicionamento	Dimensões dos CPs
MR	3	4,0%	Na temperatura de compactação $\pm 3^{\circ}\text{C}$ por um período de $2\text{h} \pm 10\text{min}$	100 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura
RT	3	4,0%		
Fadiga	12	4,0%		
Reserva	3	4,0%		
Dano por umidade	3	6,0 a 8,0%	Com condicionamento*	
	3	6,0 a 8,0%	Sem condicionamento	
Total	27			

Tabela 15: Características dos CPs moldados com compactador giratório para cada ensaio.

Ensaio	Quantidade de CPs	Volume de vazios	Condicionamento	Dimensões dos CPs
MR	3	4,0%	Na temperatura de compactação $\pm 3^{\circ}\text{C}$ por um período de $2\text{h} \pm 10\text{min}$	100 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura
RT	3	4,0%		
Fadiga	12	4,0%		
Reserva	3	4,0%		
Dano por umidade	3	6,0 a 8,0%	Com condicionamento*	
	3	6,0 a 8,0%	Sem condicionamento	
FN e MD	3	7,0% \pm 0,5%	Na temperatura de compactação $\pm 3^{\circ}\text{C}$ por um período de $2\text{h} \pm 10\text{min}$	100 mm de diâmetro e 150 mm de altura
Total	30			

*Os CPs devem ser condicionados conforme especificado na norma.

Sempre que possível deve ser também testada a mistura asfáltica no teor de projeto em simulador de tráfego de laboratório do tipo LPC ou APA para confirmação da dosagem e das características quanto à deformação permanente. O método de ensaio a ser utilizado está descrito no Procedimento REDE 09/2010 - Método LPC, disponível no ANEXO DIGITAL.

As **temperaturas** de preparação (dos **materiais** e da **mistura**) e **compactação** da mistura devem ser aquelas definidas em função da curva viscosidade x temperatura quando da caracterização do ligante asfáltico, sendo que o ligante deve apresentar viscosidade de 17 ± 2 cP na mistura e 28 ± 3 cP no processo de compactação. No caso de materiais modificados, as temperaturas devem ser fornecidas pela empresa fabricante do produto.

Após a confecção dos CPs, devem ser determinadas as **características volumétricas** (volume de vazios, RBV, VAM, massa específica aparente (G_{mb}) e densidade máxima da mistura (G_{mm})) antes da execução dos ensaios. A **massa específica aparente** (G_{mb}) dos corpos-de-prova, tanto Marshall quanto Superpave, deve ser determinada segundo ABNT 15573:2008. A **densidade máxima da mistura**, G_{mm} (F 46 - Determinação da densidade máxima de misturas betuminosas não compactadas) deve ser feita segundo ABNT NBR 15619:2008 (método *Rice*), sendo, para cada mistura, determinada em um dos teores utilizados na dosagem. Com o valor da G_{mm} e da densidade do ligante asfáltico pode-se obter o valor da densidade específica efetiva dos agregados que será utilizada para o cálculo da G_{mm} dos corpos de prova com outros teores.

A dosagem e a avaliação das misturas asfálticas devem ser executadas de acordo com os métodos de ensaio listados na **Tabela 16**.

Na dosagem Superpave devem ser realizados os seguintes procedimentos **adicionais** de análise das características das misturas (Nascimento, 2008):

- Número de fluência ou *Flow Number* (FN) – é o número de ciclos do ensaio de compressão uniaxial que indica o início da ruptura por deformação permanente no estágio terciário – convencionalmente o ponto onde começa o estágio terciário (cisalhamento com volume constante);
- Índice de densificação na compactação CDI (*Compaction Densification Index*) – determina a característica de trabalhabilidade da massa asfáltica durante a compactação giratória permitindo avaliar se a curva granulométrica e o teor de ligante estão adequados, complementando a análise volumétrica;
- Índice de densificação pelo tráfego – TDI (*Traffic Densification Index*): avalia a tendência de a mistura asfáltica apresentar sobre compactação com o tráfego. É definido como a área sob a curva de densificação a partir de 92% da densidade máxima medida (G_{mm}) até 98% da G_{mm} e baseia-se no princípio de que o revestimento continua a aumentar sua densificação após a construção, em função das cargas do tráfego.

No caso de misturas asfálticas especiais do tipo SMA e CPA deve ser realizado o ensaio de escorrimento, segundo a AASHTO T 305-09 - *Draindown Sensivity*, para determinar a quantidade de fibras necessárias para evitar o escorrimento do ligante durante as etapas de mistura, transporte e aplicação da massa asfáltica.

Eventualmente, quando não for possível a execução do ensaio de resistência a danos por umidade induzida (F 54 - Determinação da resistência ao dano causado por umidade induzida em misturas betuminosas), utilizar os métodos ABNT NBR 12583:1992 e ABNT NBR 12584:1992 (**Tabela 17**).

Tabela 16: Ensaios para avaliação das misturas asfálticas (MIST).

CODIGO	Norma	Método de Ensaio
MIST 01	ABNT NBR 15087:2004	Determinação da resistência à tração por compressão diametral
MIST 02	ABNT xxx / 2010	Determinação do módulo de resiliência de mistura asfáltica
MIST 03	ABNT NBR 12891:1993	Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall
MIST 04	ABNT 15617/2008	Determinação do dano por umidade induzida de misturas asfálticas
MIST 05	AASHTO R 35-09	<i>Superpave Volumetric Design for Hot Mix Asphalt (HMA)</i> (Dosagem de misturas betuminosas pelo método Superpave - Procedimento REDE)
MIST 07	ABNT NBR 15785:2010	Misturas asfálticas a quente - Utilização da aparelhagem Marshall para preparação dos corpos de prova com diferentes dimensões e aplicações
MIST 09	ABNT NBR 15140:2004	Determinação do desgaste por abrasão <i>Cantabro</i>
MIST 10	ABNT NBR 15573:2008	Determinação da massa específica aparente de corpos de prova compactados
MIST 11	ABNT NBR 15619:2008	Determinação da massa específica máxima medida em amostras não compactadas (RICE)
MIST 12	ASTM D 2726-08	<i>Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures</i> (Determinação da massa específica e densidade aparente de misturas betuminosas - Procedimento REDE)
MIST 13	ASTM D 3203-94	<i>Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures</i> (Porcentagem de vazios - Procedimento REDE)
MIST 14	AASHTO TP 62-09	<i>Standard Test Method for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures</i> (Determinação do módulo complexo de mistura asfáltica - Procedimento REDE)
MIST 15	Procedimento REDE04/2010	Determinação da fadiga de misturas betuminosas
MIST 16	Procedimento REDE 05/2010	Determinação do <i>Flow Number</i> (AASHTO 2002 <i>Design Guide</i>)
MIST 17	Procedimento REDE 06/2010	Determinação do <i>Compaction Densification Index</i> - CDI
MIST 18	Procedimento REDE 07/2010	Determinação do <i>Traffic Densification Index</i> - TDI
MIST 19	AASHTO T 305-09	<i>Draindown Sensivity</i> (Procedimento REDE)
MIST 20	Procedimento REDE 08/2010	Método Bailey de escolha granulométrica
MIST 21	Procedimento REDE 09/2010	Método LPC deformação permanente de misturas

Tabela 17: Lista de normas para ensaios de adesividade (ADES).

Código	Norma	Ensaio
ADES 01	ABNT NBR 12583:1992	Determinação da adesividade a ligante betuminoso de agregado graúdo
ADES 02	ABNT NBR 12584:1992	Determinação da adesividade a ligante betuminoso de agregado miúdo

2.2.2. Base

Deve ser determinado o tipo de base que será empregada no pavimento, assim como suas **características** (faixa granulométrica, $\gamma_{s\max}$, h_{ot} , energia, CBR, MR, fadiga - quando for o caso, e deformação permanente), de acordo com o tipo de material selecionado para a execução da camada de base (**Tabela 18**). A execução da camada de base deve atender às recomendações do DNIT ou do órgão parceiro, de acordo com o tipo selecionado. Todos os ensaios de caracterização comuns (Tabela 9) e que façam parte da especificação técnica

devem ser executados e anotados no SRTA (exemplos: granulometria, compactação, classificação MCT, etc. de acordo com a base escolhida).

Tabela 18: Lista das especificações para cada tipo de base (BASE).

Código	Norma	Tipo de base	
BASE 01	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 303/97)	Granular	Base estabilizada granulometricamente
BASE 02	ET-DE-P00/008/2005 DER/SP		Sub-base ou base de brita graduada
BASE 03	DNIT ES 098/2006	Coesiva	Base de solo arenoso fino de comportamento laterítico - SAFL
BASE 04	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 304/97)	Tratada quimicamente	Base de solo melhorado com cimento
BASE 05	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 305/97)		Base de solo cimento
BASE 06	ET-DE-P00/009/2005 DER/SP		Sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento - BGTC
BASE 07	ET-DE-P00/005/2006 DER/SP		Sub-base ou base de solo cal
BASE 08	ET-DE-P00/044/2006 DER/SP		Concreto compactado com rolo para sub-base ou base de pavimento de concreto de cimento Portland - Concreto rolado

Tem - se diversos tipos de base:

→ Granular (MR, CBR, expansão) que podem ser:

- Base estabilizada granulometricamente - DNIT xxx /2010 (antiga DNER ES 303/97) - consiste na combinação e mistura de solos, em proporção adequada, de forma a se obter um produto final de estabilidade maior que os solos de origem, e adequado para a aplicação em cada caso particular;
- Base de brita graduada - ET-DE-P00/008/2005 DER/SP.

→ Coesiva - Base de solo arenoso fino de comportamento laterítico - SAFL (DNIT ES 098/2006) e outros tipos propostos por Villibor e Nogami (2009).

→ Tratada quimicamente, como exemplos seguintes:

- Base de solo melhorado com cimento - DNIT xxx /2010 (antiga DNER ES 304/97) - é uma camada resultante de uma mistura de solo, cimento e água, em proporções determinadas por ensaios prévios de laboratório, compactada e submetida a processo eficiente de cura. A incorporação de cimento tem por objetivo a melhoria do solo, modificando os seus limites de consistência, a sua sensibilidade à água e a sua resistência ao cisalhamento;
- Base de solo-cimento - DNIT xxx /2010 (antiga DNER ES 305/97) - é um material obtido através da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura úmida, resulta num produto com características de durabilidade e resistências mecânicas definidas;
- BGTC - Brita Graduada Tratada com Cimento - ET-DE-P00/009/2005 DER/SP;

- Base de solo cal - é uma mistura de solo, cal e água. A cal estabiliza um solo agindo: por modificação do solo, no que se refere a sua plasticidade e sensibilidade à água; por carbonatação, que é uma cimentação fraca; por pozolanização, que é uma cimentação forte - ET-DE-P00/005 DER/SP;
- Base de solo emulsão - Procedimento REDE (baseada em Sant'ana, 2009 e outros);
- Base de concreto rolado - ET-DE-P00/044 DER/SP.

Para o projeto mecanístico é sempre fundamental a realização dos ensaios de Módulo de resiliência (DNIT ME xxx /2010, antiga DNER 131/94, e Procedimento REDE 03/2010, disponível no ANEXO DIGITAL) e de deformação permanente (Procedimento REDE 02/2010, disponível no ANEXO DIGITAL) das bases nas condições escolhidas para compor a camada estrutural do pavimento do Trecho Monitorado. O ensaio de MR deve ser expresso preferencialmente pelo modelo composto ($MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_1^{k_3}$).

2.2.3. Sub-Base

Deve ser determinado o **tipo** de sub-base (**Tabela 19**) que será empregada no pavimento, assim como suas **características** (faixa granulométrica, $\gamma_{s_{máx}}$, h_{ot} , energia, CBR, MR, fadiga se for o caso, e deformação permanente), de acordo com o tipo de material selecionado para a execução da camada de sub-base. Todos os ensaios de caracterização comuns (**Tabela 9**) e que façam parte da especificação técnica devem ser executados e anotados no SRTA (exemplos: granulometria, compactação, classificação MCT, etc. de acordo com a base escolhida). A execução da camada de sub-base deve atender as recomendações do DNIT ou outro órgão associado à pesquisa, de acordo com o tipo selecionado.

Para o projeto mecanístico é sempre fundamental a realização dos ensaios de módulo de resiliência e de deformação permanente das sub-bases nas condições escolhidas para compor a camada estrutural do pavimento do Trecho Monitorado. O ensaio de MR deve ser expresso preferencialmente pelo modelo composto ($MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_1^{k_3}$).

Tabela 19: Lista das especificações para cada tipo de sub-base (SUBB).

Código	Norma	Tipo de sub-base	
SUBB 01	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 301/97)	Granular	Sub-base Estabilizada Granulometricamente
SUBB 02	ET-DE-P00/008/2005 DER/SP		Sub-base ou Base de Brita Graduada
SUBB 03	ET-DE-P00/015/2005 DER/SP	Coesiva	Sub-base ou Base de Solo Arenoso Fino de Comportamento Laterítico - SAFL
SUBB 04	DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 302/97)	Tratada quimicamente	Sub-base de Solo Melhorado com Cimento
SUBB 05	ET-DE-P00/044/2006 DER/SP		Sub-base de concreto de cimento Portland, compactada com rolo (sub-base de concreto rolado)
SUBB 06	ET-DE-P00/009/2005 DER/SP		Sub-base ou Base de Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC
SUBB 07	ET-DE-P00/005/2006 DER/SP		Sub-base ou Base de Solo Cal

2.2.4. Pintura de Ligação

Pintura de ligação (DNIT ES xxx /2010 - antiga DNER ES 307/97) consiste na aplicação de uma camada de emulsão asfáltica sobre uma camada do pavimento com a finalidade de promover sua ligação com a camada sobrejacente a ser executada. Os detalhes da pintura de ligação executada em cada Trecho Monitorado devem estar relacionados na **ficha de identificação dos materiais das camadas** (F 40 - Ficha de Identificação de Materiais das Camadas - Folhas 1 e 2).

2.2.5. Imprimação

Imprimação (DNIT ES xxx /2010 - antiga DNER ES 306/97) consiste na aplicação de uma camada de material asfáltico sobre a superfície de uma base concluída, antes da execução de um revestimento asfáltico qualquer. Serve para aumentar a coesão da superfície da base, pela penetração do material asfáltico empregado, promover condições de aderência entre a base e o revestimento e impermeabilizar a base. Podem ser utilizados os asfaltos diluídos (CM-30) de baixa viscosidade ou emulsão para imprimação, dependendo da disponibilidade local. Os detalhes da pintura de ligação executada em cada Trecho Monitorado devem estar relacionados na **ficha de identificação dos materiais das camadas** (F 40 - Ficha de Identificação de Materiais das Camadas - Folhas 1 e 2).

2.2.6. Regularização do Subleito

Regularização do subleito consiste na operação destinada a conformar o leito estradal, quando necessário, transversal e longitudinalmente, compreendendo aterros de até 20 cm de espessura e de acordo com o projeto. Os materiais empregados na regularização, **sempre que possível**, devem ser o do **próprio subleito**. Em casos de substituição ou adição de material e da necessidade da execução de cortes ou aterros, estes deverão ser indicados em projeto e devem atender as exigências contidas nas especificações de terraplenagem. Devem ser realizados **controles** conforme a especificação de serviço DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 299/97) ou de outro órgão parceiro.

Para o projeto mecanístico é sempre fundamental a realização dos ensaios de módulo de resiliência e de deformação permanente do material do subleito, nas condições escolhidas para compor o Trecho Monitorado. O ensaio de MR deve ser expresso preferencialmente pelo modelo composto ($MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_1^{k_3}$).

2.2.7. Reforço do Subleito

Reforço do subleito compreende todas as operações necessárias à construção, sobre o leito preparado, de uma camada de pavimento, de espessura especificada e constante ao longo da seção transversal, constituído por solo escolhido e adequadamente compactado, obedecendo aos alinhamentos, perfis e seções transversais do projeto. Os materiais empregados, extraídos de jazidas determinadas no projeto, deverão ser isentos de solo vegetal e impurezas e possuir características superiores às do material do subleito. A execução do reforço do subleito deve atender a especificação de serviço DNIT ES xxx /2010 (antiga DNER ES 300/97) ou outra de órgão parceiro.

Para o projeto mecanístico é sempre fundamental a realização dos ensaios de módulo de resiliência e de deformação permanente do material de reforço de subleito, nas condições escolhidas para compor a camada estrutural do pavimento do Trecho Monitorado. O ensaio de MR deve ser expresso preferencialmente pelo modelo composto ($MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_1^{k_3}$).

2.2.8. Outros materiais de base ou sub-base

Vários materiais alternativos podem ser usados nos trechos monitorados, tais como; escória de aciaria, RCD, argila calcinada, etc. Para serem empregados na pavimentação, esses materiais devem ser caracterizados e avaliados de acordo com normas específicas. Devem ser consultadas as especificações de serviço particulares ABNT, DNIT ou outra do órgão parceiro, acrescidas das características de resiliência que sempre devem ser determinadas.

Para o projeto mecanístico é sempre fundamental a realização dos ensaios de módulo de resiliência e de deformação permanente das bases nas condições escolhidas para compor a camada estrutural do pavimento do Trecho Monitorado. O ensaio de MR deve ser expresso preferencialmente pelo modelo composto ($MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_1^{k_3}$).

2.3. ESTRUTURA

O item estrutura consiste em definir, a partir do tipo de seção a ser executada e da avaliação dos materiais, as características finais e as espessuras das camadas do pavimento do Trecho Monitorado.

2.3.1. Pavimento Novo

- A definição das espessuras das camadas sempre que possível deverá ser feita por um projeto mecanístico - empírico. Para tal pode ser utilizado programas de cálculo de tensões – deformações ou mesmo sistemas de dimensionamento mecanístico – empírico, apresentando memória de cálculo com os modelos de desempenho utilizados, princípios usado nas análises, considerações do tráfego e das intempéries,

além da representação das características dos materiais. Pede-se, no entanto, que seja também utilizado o Programa SisPav (fornecido junto com este Manual) para definir as espessuras em função dos materiais selecionados, clima, período de projeto e conhecimento do tráfego, ou pelo menos para checar a previsão da vida útil de estrutura dimensionada por outro método. A adoção do SisPav por todos os participantes prende-se a uma tentativa de comparação de todos os segmentos analisados dentro de uma mesma base de cálculo e de condições de contorno. Isto poder ajudar a definir uma possível calibração do mesmo quanto a fatores campo – laboratório.

- No caso do projeto do pavimento estar pronto pelo método tradicional do DNER (CBR) deve-se ainda assim calcular os esforços atuantes nesta estrutura para previsão da vida útil. Daí a recomendação de coleta de amostras de todas as camadas e do subleito e a determinação dos MR das mesmas.
- Portanto, todas as seções, independentemente do projeto inicial, serão "testadas" pelo SisPav, com o propósito de dimensionar (opção "dimensionar" no programa) ou verificar vida de fadiga (opção "verificar" do programa). Os critérios a serem adotados nesta análise estão no Procedimento REDE 01/2010 - Uso do programa SisPav.

2.3.2. Pavimento a Ser Restaurado

Para definir a solução a ser empregada numa situação de restauração, caso esta não tenha sido definida pelo órgão responsável pela Obra, podem ser seguidos os passos:

- Uso preferencial do Método DNER PRO 269/94 caso seja necessário usar um método normalizado;
- Mesmo definindo a solução pelo PRO 269/94 ou outro método convencional, fazer uma análise mecânica usando o seguinte roteiro simplificado:
 - Retroanálise: utilizando o programa existente no SisPav para analisar as bacias média \pm um desvio padrão é possível definir os módulos de trabalho de cada camada e assim dimensionar a espessura de reforço necessária para um período de projeto, a partir da análise das bacias de deflexão do segmento;
 - Definição de necessidade de fresagem superficial ou profunda: a partir da análise dos materiais coletados na sondagem e da análise das contribuições de cada camada na deflexão total do pavimento antigo (pela retroanálise) pode-se determinar a espessura de fresagem necessária para evitar reflexão de trincas ou aumentar capacidade de carga;
 - Definir se haverá reciclagem do material fresado e o tipo (a quente, a frio, com incorporação de base, com incorporação de cimento, etc.) de acordo com a oportunidade e interesse do local da obra e dos parceiros;
- Aqui, da mesma forma comentada no item anterior é possível utilizar qualquer outro programa de retroanálise e de cálculo de reforço, mas pede-se que todas as seções sejam também testadas com aplicação do Programa SisPav, independentemente do projeto inicial, com o objetivo de manter a base comum de comparação. Os critérios a


serem adotados nesta análise estão no Procedimento REDE 01/2010 - Uso do programa SisPav.

2.3.3. Descrição Detalhada da Via

Na descrição detalhada da via devem ser apresentados os seguintes itens, sendo que alguns já foram obtidos nos dados preliminares (**Figuras 36 e 37 - F 55 - Ficha de Dados do Trecho Monitorado - Folhas 1 e 2**):

- Croqui: colocar um croqui esquemático da via, com estaqueamento e dados da via (extensão, largura da faixa, declividade, drenagem etc.); colocar um croqui do pavimento, indicando para cada camada, o tipo de mistura ou material e as espessuras;
- Localização: colocar o sentido considerado e qual local foi determinado;
- Início - km + GPS + estaca original;
- Fim - km + GPS + estaca original;
- Estaqueamento a cada 20 m;
- Extensão mínima = 250 m;
- Número de estacas;
- Estaca inicial = 0 em geral para trecho isolado, porém se forem construídos trechos em sequência, a estaca inicial do próximo trecho será aquela correspondente a estaca sequencial correspondente;
- Dados do pavimento por camada. Como já comentado nos outros itens, a seguinte lógica de nomenclatura compõe este Manual:
 - AMOSTRA: dá-se este nome ao (s) material (is) coletado nas jazidas e locais de disposição dos elementos possíveis de serem usados no trecho (solos, britas, rejeitos, etc);
 - MATERIAL: dá-se este nome aos materiais selecionados após os primeiros ensaios de qualificação das amostras e que satisfizeram os critérios exigidos para compor o Trecho Monitorado;
 - CAMADA: dá-se esta designação ao material que foi selecionado para cada posição do pavimento e cuja espessura de uso foi definida no projeto que será construído ou é a que está colocada no pavimento a ser restaurado.

Inserir a logo
da instituição
executora




REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 55 - Ficha de Dados do Trecho Monitorado – Folha 1

Instituição responsável:		Identificação da seção:	
LOCALIZAÇÃO			
Nome da rua, avenida ou rodovia:		Município/Estado:	
Tipo de seção:	Sentido:	Drenagem: () sim () não	Tipo de drenagem:
Extensão:	Número de estacas:	Distância entre estacas:	
Início (km):	Estaca original:	Fim (km):	Estaca original:
GPS (coordenadas):	Estaca inicial:	GPS (coordenadas):	Estaca final:
Declividade transversal:	Inclinação longitudinal:	Número de faixas:	Largura de faixas:
Acostamento: () sim () não	Largura do acostamento:	Tipo de material do acostamento:	

Figura 36: Ficha de dados do Trecho Monitorado - Folha 1.

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 55 - Ficha de Dados do Trecho Monitorado – Folha 2

Instituição responsável:				Identificação da seção:			
DADOS DO PAVIMENTO							
CAMADA 1: REVESTIMENTO ou CAPA							
Tipo de mistura asfáltica:		Faixa:		Tipo de ligante:		Teor de ligante:	
MATERIAIS: tipo e quantidade							
Agregado 1:		Agregado 2:		Agregado 3:		Agregado 4:	
Temperatura dos agregados (°C):		Temperatura do ligante (°C):		Temperatura da mistura (°C):		Temperatura de compactação (°C):	
CAMADA 2: CAMADA DE LIGAÇÃO							
Tipo de mistura asfáltica:		Faixa:		Tipo de ligante:		Teor de ligante:	
MATERIAIS: tipo e quantidade							
Agregado 1:		Agregado 2:		Agregado 3:		Agregado 4:	
Temperatura dos agregados (°C):		Temperatura do ligante (°C):		Temperatura da mistura (°C):		Temperatura de compactação (°C):	
CAMADA 3: BASE							
Tipo de base:							
MATERIAIS: tipo e quantidade							
Material 1:		Material 2:		Material 3:		Material 4:	
CAMADA 4: SUB-BASE							
Tipo de sub-base:							
MATERIAIS: tipo e quantidade							
Material 1:		Material 2:		Material 3:		Material 4:	
CAMADA 5: REFORÇO DO SUBLEITO							
MATERIAIS: tipo e quantidade							
Material 1:		Material 2:		Material 3:		Material 4:	
CAMADA 6: PINTURA DE LIGAÇÃO							
Material:		Procedência:		Taxa:			
CAMADA 7: IMPRIMAÇÃO							
Material:		Procedência:		Taxa:			
CAMADA 8: OUTRAS							
Material 1:		Material 2:		Material 3:		Material 4:	

Figura 37: Ficha de dados do Trecho Monitorado - Folha 2.

3. ETAPA 2: EXECUÇÃO

Após a realização de todas as atividades da etapa da pré-execução devem ser iniciadas as atividades da etapa de EXECUÇÃO do Trecho Monitorado propriamente dito. A etapa de EXECUÇÃO é dividida em (3.1) CONFIRMAÇÃO DOS MATERIAIS e (3.2) CONTROLE DE EXECUÇÃO.

No item CONFIRMAÇÃO DOS MATERIAIS é realizada a conferência sumária de alguns resultados obtidos na etapa de PRÉ-EXECUÇÃO para checar se correspondem aos materiais realmente programados para a obra. O CONTROLE DE EXECUÇÃO deve ser feito na usina (quando houver), bem como na aplicação dos materiais na pista e visa criar o “*as built*” da obra propriamente dita. As amostras coletadas devem ser identificadas e acompanhadas de informações sobre os materiais, estacas e camadas, utilizadas em avaliações posteriores.

Como já citado, as especificações de serviço do DNIT podem ser empregadas e estão disponíveis em www.dnit.gov.br. No entanto, para prover maior fonte de consulta para todos os participantes, apresenta-se também num anexo uma compilação de controles executivos.

O ANEXO - ETAPA 02 deste Manual apresenta uma compilação de procedimentos, baseados especialmente no DER - SP, para execução de diferentes camadas de pavimentos como indicativo de especificações de serviço possíveis de serem empregadas. Estes estão divididos em três grupos:

- (i) SUBLEITO
 - ANEXO E 1 - Regularização do Subleito
- (ii) REFORÇO DO SUBLEITO, SUB-BASE E BASE:
 - ANEXO E 2 - Reforço do Subleito
 - ANEXO E 3 - Camada de Brita Graduada Tratada com Cimento
 - ANEXO E 4 - Camada de Macadame Hidráulico
 - ANEXO E 5 - Camada de Macadame Asfáltico
 - ANEXO E 6 - Camada de Macadame Seco
 - ANEXO E 7 - Camada de Solo Arenoso Fino de Comportamento Laterítico
 - ANEXO E 8 - Camada de Bica Corrida
 - ANEXO E 9 - Camada de Solo Brita
 - ANEXO E 10 - Camada de Solo-Brita-Cimento
 - ANEXO E 11 - Camada de Brita Graduada
 - ANEXO E 12 - Camada de Solo-Cal
 - ANEXO E 13 - Camada de Solo-Cimento
 - ANEXO E 14 - Camada de Solo de Comportamento Laterítico - Brita Descontínua
 - ANEXO E 15 - Camada Estabilizada Granulometricamente

(iii) REVESTIMENTO:

- ANEXO E 16 - Tratamento Superficial Simples
- ANEXO E 17 - Tratamento Superficial Duplo
- ANEXO E 18 - Tratamento Superficial Triplo
- ANEXO E 19 - Capa Selante
- ANEXO E 20 - Tratamento Anti-Pó
- ANEXO E 21 - Pintura de Ligação
- ANEXO E 22 - Macadame Betuminoso de Penetração
- ANEXO E 23 - Lama Asfáltica
- ANEXO E 24 - Imprimação
- ANEXO E 25 - Pré-Misturado a Frio
- ANEXO E 26 - Areia Asfalto a Quente
- ANEXO E 27 - Microrrevestimento Asfáltico a Frio
- ANEXO E 28 - Microrrevestimento Asfáltico a Quente
- ANEXO E 29 - Concreto Asfáltico Usinado a Quente - CBUQ
- ANEXO E 30 - Concreto Asfáltico Tipo SMA
- ANEXO E 31 - Camada Porosa de Atrito - CPA
- ANEXO E 32 - *Béton Bitumineux Très Mince, BBTM* (concreto betuminoso muito delgado)
- ANEXO E 33 - *Enrobés à module eleve, EME* (misturas de módulo elevado)

Para cada tipo de camada estão descritos em detalhes no anexo os seguintes itens:

- DEFINIÇÃO;
- CONFIRMAÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS;
- EXECUÇÃO;
- CONTROLE DE EXECUÇÃO; e
- ACEITAÇÃO.

Os procedimentos apresentados foram primeiramente extraídos das normas e especificações do DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, porém para alguns tipos de camada, especificações de outros órgãos foram igualmente consultadas (ABNT, DERSA, ASTM e normas européias).

No entanto, serão apresentados a seguir os controles mínimos propostos para cada tipo básico de camadas, para uso nos trechos monitorados, que serão de pequena extensão, portanto, os planos de amostragem devem ser adequados para esta condição.

Vale ressaltar que a contratação de empresa construtora é de responsabilidade do órgão parceiro, assim como a definição da mão-de-obra e dos equipamentos a serem utilizados na etapa de execução do pavimento. Além disso, o órgão parceiro também deve entrar em contato com o órgão responsável pelo tráfego para providenciar antes do início das obras a

sinalização com placas, cones e outros acessórios necessários e para realizar o controle do tráfego durante a construção do trecho.

3.1. CONFIRMAÇÃO DOS MATERIAIS

A confirmação dos materiais consiste na coleta de amostras dos materiais que serão utilizados na construção do trecho, sua caracterização sumária (simplificada) e avaliação dessas, para verificar se atendem às características selecionadas na etapa de PRÉ-EXECUÇÃO (escolha dos materiais e dosagem da mistura asfáltica). Não gerarão registros no SRTA.

Caso algum material apresente variação significativa ou não atenda ao projeto da PRÉ-EXECUÇÃO, são sugeridas as seguintes ações:

- Adequação dos materiais;
- Alteração do projeto utilizando os novos materiais disponíveis, voltando para a etapa de PRÉ-EXECUÇÃO.

Na impossibilidade de seguir as ações anteriores, dar continuidade ao procedimento de EXECUÇÃO, registrar a ocorrência e seguir para a etapa de Controle de Execução.

O mais importante ao final é ter bem feito o “*as-built*” do trecho, especialmente do revestimento, com caracterização completa do ligante e caracterização mecânica das misturas asfálticas empregadas. Os demais materiais serão controlados pelos métodos de controle tradicionais e por deformabilidade (medidas de deflexão), sempre que possível.

As amostras coletadas na etapa de EXECUÇÃO serão identificadas por um código: **EXE**, seguido da sigla da instituição executora, tipo de material (ASFA para asfalto, AGRE para agregados etc.), do número da amostra e do ano de coleta. Por exemplo, amostra 01 de asfalto da UFRJ coletada na etapa de controle de construção das camadas: **EXE-UFRJ-ASFA-01-2010**.

Os seguintes itens de controle, no mínimo, dos materiais das camadas devem ser verificados:

→ Revestimento:

- Tipo de ligante e refinaria (origem);
- Origem e granulometria dos agregados e fíleres;
- Abrasão *Los Angeles* dos agregados;
- Procedência de aditivos.

→ Base e Sub-base

- Origem e tipo da jazida;
- Granulometria;
- Procedência de outros aditivos.

3.2. CONTROLE DE EXECUÇÃO

A **execução** das camadas do pavimento deve sempre atender às recomendações do órgão responsável pela obra.

Na **Tabela 20** encontra-se uma lista das normas de alguns procedimentos de controle de execução que devem ser utilizados e estão descritos na etapa de PRÉ- EXECUÇÃO.

Entende-se por bom controle tecnológico da execução a realização de ensaios próprios para garantir a qualidade da camada executada, em espaçamentos adequados que representem uma boa amostragem do serviço, controle de deformabilidade, acabamento, geometria, espessuras, etc. Quando se tem base ou sub-base tratada quimicamente, controles do processo de fabricação também são necessários. No caso de bases e sub-bases preparadas em usinas de solo, fazer controle na usina, durante o espalhamento e durante a compactação. Hoje é possível se utilizar máquinas recicladoras também para fazer bases estabilizadas em pista.

Resumidamente, por exemplo, o controle da execução de um revestimento, deve ser composto de critérios sobre: amostragem (quanto e como), controle da usinagem com mapeamento detalhado da operação da usina de mistura asfáltica (granulometria, teor de ligante, temperatura de usinagem, etc, acompanhamento dos caminhões de massa asfáltica e seu controle na chegada à pista) e controles de aplicação. Em Bernucci *et al* (2008) estão apresentados de forma completa os principais controles indicados para a execução de revestimentos.

Tabela 20: Lista de ensaios de controle de campo (CONT).

Código	Norma	Método de Ensaio
PAV 01	DNIT ME xxx /2010 (antiga DNER ME 024/94)	Determinação das deflexões pela Viga Benkelman
CONT 01	DNER PRO 013-94	Coleta de amostras de misturas betuminosas para pavimentação
CONT 02	Procedimento REDE 10/2010	Controle de grau de compactação com densímetro não nuclear
PAV 04	DNIT PRO xxx /2010 (antiga DNER PRO 273/96)	Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo <i>Falling Weight Deflectometer</i> - FWD
PAV 05	ASTM E 303-08	<i>Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester</i> (Pêndulo Britânico)
PAV 06	ASTM E 965-06	<i>Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique</i> (Mancha de areia - Procedimento REDE)
PAV 07	DNIT PRO xxx /2010 (antiga DNER PRO 175/94)	Pavimento - Aferição de Viga <i>Benkelman</i>

Sempre que o revestimento asfáltico for uma mistura usinada, caberá ao órgão parceiro verificar se a usina disponível atende às necessidades para produzir o tipo de mistura asfáltica selecionada, assim como realizar a calibração da mesma.

Durante a fase de construção do pavimento, deve ser feita coleta de amostras de materiais e de misturas antes da aplicação na pista. As quantidades a serem coletadas e o espaçamento de amostragem estão discriminadas na Tabela 21.

Tabela 21: Coleta de materiais das camadas durante a construção (em pista) para ensaios posteriores.

Camada	Quantidade por amostra (kg)	Espaçamento
Subleito	30	1 amostra a cada 100 m (ou início, meio e fim do segmento)
Reforço do subleito	30	
Sub-base	45	
Base	45	
Revestimento - Mistura usinada	10	1 amostra de cada caminhão
Revestimento - Tratamento Superficial	10 (por tipo agregado)	Controle de campo da taxa de agregado e ligante no início do trecho
	1 litro por camada (emulsão)	
Materiais estabilizados com cimento ou outro produto químico	Moldagem de 3 cps na pista	1 amostra a cada 100 m (ou início, meio e fim do segmento)

Essas amostras devem ser identificadas com a sigla CONT, uma vez que fazem parte da etapa de CONTROLE DE EXECUÇÃO. Em laboratório serão submetidas aos ensaios listados nas Tabelas anteriores correspondentes a cada camada descrita na pré-execução. Além da coleta de amostras, sempre que possível, é importante registrar com fotografias todas as atividades realizadas durante a execução dos trechos monitorados.


3.2.1. Controle de Produção e Aplicação da Massa Asfáltica

Durante a produção da mistura na usina, deve ser realizado o controle da granulometria da massa asfáltica por parte de instituição executora. Esse controle é realizado a partir da coleta de amostras de massa asfáltica de cerca de 10 kg de cada caminhão para realizar a extração do ligante e determinar a sua granulometria (**DNER PRO 013-94**). Deve ser feito o controle de temperatura da massa asfáltica na usina, onde deve ser anotada a temperatura da massa asfáltica antes do caminhão sair da usina (**Figura 38 - F 56 - Ficha de Acompanhamento - Usina de Asfalto**), identificando o caminhão pela placa e horário de saída da usina.

Listam-se, como um *check list*, os controles a serem executados:

- Controle da temperatura do ligante no tanque;
- Coleta de ligante no tanque;
- Coleta de agregados nos silos quentes ou nas pilhas;
- Extração de ligante e análise granulométrica de amostras de massa asfáltica na usina;
- Controle de temperatura do material nas calhas.

Inserir a logo
da instituição
executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 56 - Ficha de Acompanhamento - Usina de Asfalto

Instituição responsável:			Identificação da seção:		
Usina:			Tipo de pavimento:		
Tipo de mistura:			Tipo e teor de ligante:		Data:
Placa do Caminhão	Hora da Saída do Caminhão	Temperatura de Saída, °C	Amostragem		Observações
			Teor de Ligante	Análise Granulométrica	

Figura 38: Ficha de acompanhamento - Usina de Asfalto.


Deve ser feito controle da temperatura em campo. Para isso devem ser anotadas as temperaturas da massa asfáltica quando o caminhão chegar ao local, antes da compactação e após o espalhamento da massa no trecho (**Figura 39 - F 57 - Ficha de Acompanhamento - Pista**).

Além do controle de temperatura, a ficha da **Figura 38** é empregada para controle de espalhamento da massa: anotar a placa e o horário de chegada do caminhão, a faixa (direita, esquerda ou central) e as estacas inicial e final correspondentes ao espalhamento de massa de cada caminhão. É importante ressaltar que a massa asfáltica deve ser

transportada em caminhão apropriado cobertas por lona, evitando grande variação de temperatura durante o transporte.

É importante coletar cerca de 30 kg de massa asfáltica na Usina destinadas ao laboratório da Instituição executora para realização de ensaios de dano por umidade induzida e verificação da adesividade e também para ensaio de massa específica RICE para controle do grau de compactação efetivo.

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 57 - Ficha de Acompanhamento - Pista

Instituição responsável:				Identificação da seção:			
Usina:				Tipo de pavimento:			
Tipo de mistura:				Tipo e teor de ligante:			Data:
Placa do Caminhão	Hora de Chegada do Caminhão	Temp. de Chegada, °C	Temp. de Compactação, °C	Local de Espalhamento			Observações
				Estaca Inicial	Estaca Final	Faixa (direita, esquerda ou central)	

Figura 39: Ficha de acompanhamento - Pista.

3.2.1.1 – Controle deflectométrico

Em todos os casos de construção de trecho monitorado considera-se fundamental o controle construtivo de todas as camadas através de deflexão, seja com Viga Benkelman seja com FWD. Estes valores serão anotados e inseridos no SRTA para auxiliar na análise do desempenho dos trechos.


3.2.2. Recebimento do Pavimento: Tempo '0'

Após a execução do Trecho Monitorado deve ser feito o controle de campo através da determinação dos parâmetros das camadas compactadas tais como: espessura, umidade, grau de compactação (no caso de base e sub-base estes só podem ser feitos de imediato, e devem ser feitos sempre que possível com uso de densímetros apropriados) entre outros.

Como comentado, o controle construtivo de todas as camadas deve ser feito também pela deflexão e este é um excelente parâmetro de controle de qualidade do grau de compactação também, além da característica estrutural.

O grau de compactação da mistura asfáltica pode ser levantado através da utilização do densímetro não nuclear nas camadas de mistura, conforme proposição de Nascimento *et al.* (2009) - Procedimento REDE 10/2010 e pelo método tradicional com retirada de corpos de prova. Na **Figura 40** está mostrada a ficha Grau de Compactação pelo método do Frasco de Areia (F 59 - Ficha de Controle - Grau de Compactação - Campo) a ser utilizada para coleta dos dados e determinação do grau de compactação pelo método tradicional para as camadas de base, sub-base, reforço de subleito e subleito.

Inserir a logo da instituição executora



REDE TEMÁTICA DE ASFALTO
PROJETO DOS TRECHOS MONITORADOS

F 59 - Ficha de Controle - Grau de Compactação - Campo

Instituição responsável:	Identificação da seção:	Data do ensaio:
Pista:	Tipo de revestimento:	Executante:

RESULTADOS				
Data				
Posição do Furo (LD / Eixo / LE)				
Camada (Base / Sub-base)				
Estaca				
Espessura (cm)				
Peso da Areia no Frasco com Cone, antes (g)				
Peso da Areia no Frasco com Cone, depois (g)				
Peso da Areia Deslocada (g)				
Peso da Areia no Cone (g)				
Peso da Areia na Cavidade (g)				
Massa Específica Aparente da Areia (g/L)				
Volume de Areia da Cavidade (L)				
Peso do Solo Retirado da Cavidade (g)				
Massa Específica Aparente do Solo Úmido (g/L)				
Umidade do Campo (%)				
Massa Específica Aparente do Solo Seco (g/L)				
Massa Específica Aparente Seca Máxima (g/L)				
Grau de Compactação (%)				
Observações:				

Figura 40: Ficha de determinação do grau de compactação pelo método do frasco de areia.

Todos os demais levantamentos iniciais (IRI, FWD, VB, Mancha e Pêndulo) são feitos de forma similar ao descrito no item inicial deste Manual e serão a ligação com a PÓS – EXECUÇÃO e o marco “ZERO” das próximas avaliações.

3.2.2.1. Avaliação da Condição Estrutural do Trecho Monitorado

Para avaliação estrutural do pavimento, recomenda-se determinar a medida das deflexões com a Viga *Benkelman*, ou com *Falling Weight Deflectometer* (FWD), conforme abordado no item 1.4.6.3, em todas as estacas do trecho, alternando nas duas trilhas de roda, mantendo off-set de 10m quando for mais de uma faixa de tráfego, atendendo as deflexões previstas no projeto com o SisPav ou com outro sistema mecânico - empírico. Sempre que possível

efetuar a passagem da Viga Benkelman após a construção das camadas de base e sub-base, além da passagem no revestimento, para obtenção de bacias deflectométricas.

3.2.2.2. Avaliação da Condição Funcional do Trecho Monitorado

A avaliação funcional do pavimento é a determinação da irregularidade que influencia na serventia e no conforto que o pavimento proporciona ao usuário (qualidade de rolamento). Durante a execução deve ser feito, em cada estaca, o controle de acabamento da superfície com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00 m e outra de 1,20 m, colocadas respectivamente em ângulo reto e paralelamente ao eixo da pista (**Figura 41**). Deve ser conferida especial atenção à verificação da presença de segregação superficial.



Figura 41: Exemplo de Régua para controle de acabamento de superfície

3.2.2.3. Avaliação de Aderência

Para a avaliação da aderência pneu-pavimento, dois aspectos relacionados à textura são a microtextura, e a macrotextura, abordados no item **1.4.6.2**. Após a execução do revestimento, para controle da qualidade superficial de acabamento, devem ser feitos os ensaios de mancha de areia e Pêndulo Britânico, para avaliação da macrotextura e microtextura, respectivamente. As fichas a serem utilizadas são as já citadas F 06 mancha de areia e F 07 pendulo.

3.2.2.4. Recontagem do Tráfego

É importante que haja uma recontagem do tráfego após a abertura do Trecho Monitorado. É comum o aumento do tráfego contado antes do início da obra, quando se trata de uma obra de restauração, bem como do tráfego previsto, quando se trata de uma obra nova.

NOTA:

Antes da liberação ao tráfego, deve ser feita a aplicação da pintura de sinalização horizontal em toda a extensão do Trecho Monitorado. Sempre que possível colocar placa de identificação como trecho “experimental ou monitorado” ou mesmo pintura especial nos acostamentos.

4. ETAPA 3: PÓS-EXECUÇÃO

A etapa de PÓS-EXECUÇÃO consiste basicamente no monitoramento dos trechos executados com avaliação das condições funcional e estrutural dos pavimentos dos trechos monitorados, através do acompanhamento e da análise de degradações relacionadas com o tráfego conforme planejamento detalhado a seguir.

4.1. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DOS TRECHOS MONITORADOS

Após a liberação ao tráfego, deve ser realizado o levantamento das condições do pavimento periodicamente, da seguinte forma resumida, que também está apresentada na **Tabela 22**:

- (i) primeira avaliação **após uma semana** da construção (caso não se tenha realizado o controle tempo “0” em todos os aspectos mencionados no item **3.2**);
- (ii) segunda avaliação **após um mês** da construção - levantamento visual;
- (iii) terceira avaliação **após 6 meses** da construção;
- (iv) quarta avaliação **após um ano** da construção, e a partir desta realizar o levantamento **uma vez por ano**.

Para estes levantamentos serão utilizados os métodos, procedimentos e planilhas já descritos nas Etapas anteriores.

Tabela 22: Tabela de periodicidade das avaliações periódicas pós-execução dos trechos monitorados a serem registradas no SRTA

	Tempo 0 ou uma semana	1 mês	6 meses	Ano 1	Ano 2 a 5
Amostra do Revestimento usinado (CPs)	x		x	x	x
Deflexão	x		x	x	x
IRI	x		x	x	x
Pendulo e mancha	x	x	x	x	x
Levantamento de Defeitos	x	x	x	x	x
Atrito	*		*	*	*
Permeabilidade	x		x	x	x
LVC		x		x	

*opcional - sempre que estiver disponível um equipamento

A coleta de amostras de revestimentos usinados (CPs) mencionadas na **Tabela 22** deve ser realizada com sonda rotativa de 10 cm de diâmetro, da seguinte forma:

- Sempre no entorno das mesmas estacas, a cada coleta, sendo cinco amostras por estaca, espaçadas de pequena distância; sempre que possível usar a trilha de roda externa para esta retirada.
- Operar a sonda de forma a obter cilindros “retos”, ou seja, não esconsos, para isto não nivelar a sonda com a superfície do pavimento, tentar obter CPs de faces paralelas no topo e base;
- Sugere-se a realização da coleta no mínimo nas cinco estacas centrais do trecho ou de forma aleatória, mas sempre evitando o início e o fim do trecho, mais sujeitos a

problemas construtivos; no caso do trecho ser de mais de uma faixa, estabelecer correspondência entre as faixas.

- Caso haja duas ou mais camadas asfálticas, retirar sempre espessuras correspondentes a todas as camadas, que serão separadas visualmente no laboratório, para posterior corte com serra diamantada;
- Serão preparados corpos de prova de, no mínimo, 3 cm e no máximo de 7 cm de altura, de cada camada asfáltica de cada amostra; estes devem ser ensaiados o mais rapidamente possível, mas se for preciso armazenar durante um tempo tomar os seguintes cuidados: nunca colocar um corpo de prova sobre o outro ou qualquer peso sobre eles; armazenar de preferência em gaveta ou local protegido, apoiados sobre uma geratriz;
- Estes CPs serão utilizados para: ensaios de densidade aparente (visando acompanhar possível densificação pelo tráfego), MR e RT. O material resultante da quebra após RT deve ser estocado devidamente identificado, para posterior avaliação do envelhecimento do ligante com o tempo, por ensaios específicos de recuperação do ligante e análise química dos resíduos. Estes ensaios serão centralizados em laboratório específico a ser indicado ao longo do Projeto.

Todo o monitoramento, previsto na **Tabela 22**, tem como objetivo acompanhar a evolução das condições funcionais e estruturais dos pavimentos submetidos ao tráfego; identificando quanto tempo após a abertura ao tráfego (ou que volume de tráfego, representado por um número equivalente de eixos padrão) surgem algumas degradações (como, por exemplo, os trincamentos) e qual a taxa de evolução das mesmas com o tráfego. Portanto, o monitoramento dos pavimentos experimentais é uma etapa fundamental na definição do fator laboratório-campo e na calibração de modelos de previsão de desempenho.

A avaliação das condições dos pavimentos dos trechos monitorados deve ser realizada em toda a extensão do pavimento do Trecho Monitorado. Todos estes dados serão incluídos no SRTA, para compor o banco de dados que servirá para a análise final da pesquisa.

4.1.1. Contagem e Pesagem dos Veículos

Sempre que for realizado o levantamento das condições dos trechos monitorados devem ser feitas a contagem classificatória e se possível a pesagem dos veículos, de forma a determinar o Volume Médio Diário (VMD) e o número N, conforme apresentado no item **1.4.2** da etapa de PRÉ-EXECUÇÃO. Se o pavimento experimental for construído em rodovia concedida, esses dados poderão ser complementados através de informações colhidas junto a praças de pedágio.

4.1.2. Avaliação da Condição Funcional dos Trechos Monitorados

A avaliação da condição funcional do pavimento dos trechos monitorados compreende: medida de irregularidade longitudinal, levantamento de defeitos (incluindo área trincada e afundamentos nas trilhas de roda) e determinação das condições de macrotextura e microtextura do revestimento, conforme procedimentos já descritos neste MANUAL.

Inicialmente, esses levantamentos devem ser realizados conforme intervalos indicados no item 4.1. Caso haja uma progressão rápida de defeitos ou de irregularidades, a partir de uma das datas de levantamento, aconselha-se reduzir os intervalos de tempo de monitoramento para melhor definir as curvas de desempenho.

A medida da irregularidade deve ser quantificada empregando o uso de perfilômetros inerciais, que permitem maior velocidade e pouca interferência no tráfego. A verificação do sistema deve ser realizada pelo método de nível e mira, que irá servir de referência para a calibração do sistema medidor (perfilômetro). A escala para medida da irregularidade será o *International Roughness Index* (IRI), em m/m, expresso em uma medida única por Trecho Monitorado.

No caso do levantamento dos defeitos, deve ser utilizada a lista de defeitos constante na Figura 6, do item 1.4.6.1., onde a seção experimental deve ser dividida em áreas de 1,00 m x 1/3 da largura da faixa. Os afundamentos de trilha de roda podem ser levantados por uma treliça de alumínio (**Figura 5**), padronizada, de 1,20 m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio, e que permite medir, em milímetros, as flechas nas trilhas de roda ou por perfilômetro a laser. Neste procedimento os sensores devem ter o posicionamento na barra de forma que simule uma treliça (**Figura 6**).

As avaliações de macrotextura e microtextura do revestimento devem ser realizadas empregando o ensaio de mancha de areia (ASTM E 965-06) e ensaio com o “Pêndulo Britânico” (ASTM E 303-08), respectivamente, conforme descritos no item 1.4.6.1 deste MANUAL. As medições devem ser realizadas em cada estaca, alternando-se as trilhas de roda externa e interna.

Os valores de macrotextura recomendados pelo Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006), para misturas de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) variam entre 0,60 e 1,20 mm, o que significa que as superfícies devem apresentar textura média à grossa. Os valores de resistência a derrapagem expressos em VRD devem ser ≥ 55 , ou seja, as superfícies devem apresentar características medianamente rugosa a rugosa.

Sempre que possível realizar avaliação do atrito pneu pavimento com equipamentos de medidas contínuas como *Grip Tester*, μ meter ou outros disponíveis. Também onde for possível é recomendável a avaliação de ruído nos trechos monitorados.

4.1.3. Avaliação da Condição Estrutural dos Trechos Monitorados

Para avaliar a condição estrutural do pavimento dos trechos monitorados deve ser realizado o levantamento deflectométrico com Viga *Benkelman*, de preferência eletrônica, ou com FWD, antes da abertura ao tráfego e, posteriormente, conforme períodos já definidos. Lembrar que a série histórica de cada trecho deve sempre ser feita com o mesmo equipamento.

Os levantamentos de deflexões com Viga *Benkelman* devem seguir o prescrito pela norma DNIT ME xxx / 2010 (antiga DNER ME 024-94 - Pavimento - Determinação das deflexões pela Viga *Benkelman*). Antes de cada levantamento, o equipamento deverá ser aferido, seguindo o disposto no procedimento DNIT PRO xxx / 2010 (antigo DNER PRO 175-94 - Pavimento - Aferição de Viga *Benkelman*). No caso do uso de FWD, os levantamentos devem ser realizados de acordo com o DNIT PRO xxx / 2010 (antigo DNER PRO 273-96).

Complementarmente, antes da abertura do pavimento ao tráfego (EXECUÇÃO Etapa 0) e, posteriormente, nos intervalos discriminados no item 4.1 devem ser determinadas as linhas de influência das bacias de deformação com *FWD* ou com Viga *Benkelman*. As bacias deverão ser levantadas a cada estaca, alternando-se medidas nas trilhas externa e interna. Caso haja uma progressão rápida de defeitos ou de irregularidades, a partir de uma das datas de levantamento, aconselha-se reduzir os intervalos de tempo de monitoramento para melhor definir as curvas de desempenho.

Cabe ressaltar que todos estes levantamentos devem ser inseridos no SRTA, o mais rapidamente possível depois de cada avaliação, pela instituição executora.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como uma quarta etapa desta pesquisa, o banco de dados gerado com todos os trechos monitorados permitirá uma análise ampla e o fechamento da pesquisa, que deve envolver todas as universidades e instituições participantes. Esta etapa será grandemente auxiliada pela análise dos dados armazenados no SRTA. Não será neste momento detalhada neste Manual, mas a pretensão é obter subsídios que permitam colaborar para a criação de um novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos brasileiro e permitir a divulgação de novas técnicas, processos e materiais para grande parte da comunidade rodoviária nacional.

Seguem neste Manual:

Anexos digitais das planilhas para registro de dados a serem depois lançados no SRTA - Sistema da REDE Temática de Asfaltos, que é o “coração” da pesquisa sendo Sistema de Aquisição e Análise de dados comuns a todos os experimentos, que está sendo desenvolvido pelo CENPES; fluxogramas de definição dos passos descritos neste Manual e dados a serem adquiridos, que formarão o Banco de dados dos Trechos Experimentais Monitorados e serão partes do Sistema Global de todos os segmentos realizados.

6. REFERÊNCIAS

- AASHTO R 41-05 - *Standard Practice for Measuring Pavement Profile Using a Dipstick®*
- AASHTO T 19-09 - *Bulk Density and Voids in Aggregate*
- AASHTO 2002 Design Guide - Determinação do Flow Number
- AASHTO M 320-09 - *Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder*
- AASHTO M 323-04 - *Superpave Volumetric Mix Design*
- AASHTO MP 8-02 - *Stone Matrix Asphalt (SMA)*
- AASHTO T 176-08 - *Standard Method of Test for Plastic Fines in Graded Aggregates and Soils by Use of the Sand Equivalent Test*
- AASHTO T 283-07 - *Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage*
- AASHTO T 326-05 - *Standard Method of Test for Uncompacted Void Content of Coarse Aggregate (As Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)*
- ABNT NBR 6293:2001 - Materiais betuminosos - Determinação da ductilidade
- ABNT NBR 6560:2008 - Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola
- ABNT NBR 6570:2010 - Emulsões asfálticas - Determinação da sedimentação e estabilidade a estocagem
- ABNT NBR 6576:2007 - Materiais asfálticos - Determinação da penetração
- ABNT NBR 7809:2006 - Agregado graúdo - Determinação do Índice de Forma pelo método do Paquímetro
- ABNT NBR 11341:2008 - Derivados de petróleo - Determinação do ponto de fulgor em vaso aberto de Cleveland
- ABNT NBR 12583:1992 - Determinação da adesividade a ligante betuminoso de agregado graúdo
- ABNT NBR 12584:1992 - Determinação da adesividade a ligante betuminoso de agregado miúdo
- ABNT NBR 12891:1993 - Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall
- ABNT NBR 14746:2001 - Microrrevestimento a frio e lama asfáltica - Determinação de perda por abrasão úmida (WTAT)
- ABNT NBR 14949:2003 - Microrrevestimentos asfálticos - Caracterização da fração fina por meio da absorção de azul-de-metileno
- ABNT NBR 14950:2003 - Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt-Furol de material betuminoso
- ABNT NBR 15086:2006 - Materiais betuminosos - Determinação da recuperação elástica pelo dutilômetro
- ABNT NBR 15087:2004 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral
- ABNT NBR 15140:2004 - Determinação do desgaste por abrasão Cantabro
- ABNT NBR 15166:2004 - Asfalto Modificado - Ensaio de separação de fase
- ABNT NBR 15184:2004 - Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperatura elevada usando um viscosímetro rotacional
- ABNT NBR 15235:2009 - Materiais asfálticos - Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional
- ABNT NBR 15528:2007 - Aditivos orgânicos melhoradores de adesividade para cimento asfáltico de petróleo - Avaliação para recebimento
- ABNT NBR 15529:2007 - Asfalto borracha - Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional
- ABNT NBR 15573:2008 - Determinação da massa específica aparente de corpos de prova compactados
- ABNT NBR 15618:2008 - Avaliação por desempenho de aditivos orgânicos melhoradores de adesividade
- ABNT NBR 15619:2008 - Determinação da massa específica máxima medida em amostras não compactadas
- ABNT NBR 15785:2010 - Misturas asfálticas a quente - Utilização da aparelhagem Marshall para preparação dos corpos de prova com diferentes dimensões e aplicações
- ABNT NBR NM 45:2006 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios
- AFNOR NF P98-137 - *Béton Bitumineux Très Mince (BBTM)*
- AFNOR NF P98-140 - *Enrobés à Module Eleve (EME)*
- ASTM C 1252-06 - *Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading)*
- ASTM C 127-07 - *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*

- ASTM C 128-07 REV A - *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*
- ASTM C 131-06 - *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*
- ASTM C 136-06 - *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*
- ASTM C 88-05 - *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*
- ASTM D 2726-08 - *Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures*
- ASTM D 3203-94 - *Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures*
- ASTM D 3497-79 - *Standard Test Method for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures*
- ASTM D 4791-07 - *Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*
- ASTM D 6521-08 - *Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)*
- ASTM D 6648-08 - *Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR)*
- ASTM D 6816-02 - *Standard Practice for Determining Low-Temperature Performance Grade (PG) of Asphalt Binders*
- ASTM D 7175-08 - *Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer*
- ASTM D 7369-09 - *Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension Test*
- ASTM D 7405-08 Rev. A - *Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer*
- ASTM E 303-08 - *Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*
- ASTM E 965-06 - *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrot texture Depth Using a Volumetric Technique*
- BOSSCHER, P. (2000) *Relationship Between Pavement Temperature and Weather Data*. Transportation Research Board, Washington, D. C. Proceedings TRB Annual Meeting.
- CALTRANS. Gap-graded (GG). Caltrans SSP 39-700 A-10-01-01. California Department of Transportation, "Standard Special Provisions", Sacramento, CA, 2001
- CAVALCANTI, L. S. *Efeito de Alguns Modificadores de Ligantes na Vida de Fadiga e Deformação Permanente de Misturas Asfálticas*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 177 p., 2010
- CUNDILL, M.A. *The Merlin Road Roughness Machine - User Guide*. Transport Research Laboratory Library. TRL Report 229, ISSN 0968-4107, Crowthorne, 1996.
- DNER CLA 259-96 - Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura
- DNER EM 260-94 - Escórias de alto-forno para pavimentos rodoviários
- DNER EM 262-94 - Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários
- DNER ES 301-97 - Sub-base Estabilizada Granulometricamente
- DNER ES 302-97 - Sub-base de Solo Melhorado com Cimento
- DNER ES 303-97 - Base estabilizada granulometricamente
- DNER ES 304-97 - Base de solo melhorado com cimento
- DNER ES 305-97 - Base de solo cimento
- DNER ES 308-97 - Tratamento Superficial Simples (TSS)
- DNER ES 309-97 - Tratamento Superficial Duplo (TSD)
- DNER ES 310-97 - Tratamento Superficial Triplo (TST)
- DNER ES 314-97 - Lama Asfáltica (LA)
- DNER ES 317-97 - Pré-misturado a frio (PMF)
- DNER ES 318-97 - Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CBUQ)
- DNER ES 322-97 - Sub-base de concreto de cimento Portland, compactada com rolo (sub-base de concreto rolado)
- DNER ES 386-99 - Camada Porosa de Atrito (CPA)
- DNER ES 389-99 - Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF)
- DNER ES 227-89 - Agregados sintéticos graúdos de argila calcinada - emprego em obras rodoviárias
- DNER ME 024-94 - Determinação das deflexões pela Viga Benkelman
- DNER ME 041-94 - Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização

- DNER ME 049-94 - Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas
- DNER ME 080-94 - Análise granulométrica por peneiramento
- DNER ME 082-94 - Determinação do limite de plasticidade
- DNER ME 083-94 - Solos - análise granulométrica por sedimentação
- DNER ME 085-94 - Determinação da massa específica real de material finamente pulverizado
- DNER ME 087-94 - Solos - Determinação dos fatores de contração
- DNER ME 092-94 - Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia
- DNER ME 093-94 - Determinação da densidade real
- DNER ME 122-94 - Determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito
- DNER ME 129-94 - Compactação utilizando amostras não trabalhadas
- DNER ME 131-94 - Determinação do módulo de resiliência
- DNER ME 196-98 - Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado gráudo
- DNER ME 197-97 - Agregados - Determinação da resistência ao esmagamento de agregados gráudos
- DNER ME 201-94 - Solo-cimento - compressão axial de corpos de prova cilíndricos
- DNER ME 202-94 - Solo-cimento - moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos
- DNER ME 213-94 - Determinação do teor de umidade
- DNER ME 228-94 - Compactação em equipamento miniatura
- DNER ME 256-94 - Solos compactados com equipamento miniatura: determinação da perda de massa por imersão
- DNER ME 258-94 - Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-MCV
- DNER ME 397-99 - Agregados - Determinação do índice de degradação Washington - IDW
- DNER ME 398-99 - Agregados - Índice de degradação após compactação Proctor (IDP)
- DNER ME 399-99 - Agregados - Determinação da perda ao choque no aparelho Treton
- DNER ME 400-99 - Agregados - Desgaste após fervura de agregado petróleo natural
- DNER PRO 003-94 - Coleta de amostras deformadas de solos
- DNER PRO 006-03 - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos
- DNER PRO 261-94 - Emprego de escórias de alto forno em pavimentos rodoviários
- DNER PRO 263-94 - Emprego de escórias de aciaria em pavimentos rodoviários
- DNER PRO 269-94 - Projeto de Restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV
- DNER PRO 273-96 - Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo Falling Weight Deflectometer - FWD
- DNIT ES 031-06 - Concreto Asfáltico (CA)
- DNIT ES 032-06 - Areia-asfalto a quente (AAQ)
- DNIT PRO 102-97 - Sondagem de reconhecimento pelo método rotativo
- ET-DE-P00/005/2006 DER/SP - Sub-base ou base de solo cal
- ET-DE-P00/008/2005 DER/SP - Sub-base ou base de brita graduada
- ET-DE-P00/009/2005 DER/SP - Sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento - BGTC
- ET-DE-P00/015/2005 DER/SP - Sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico - SAFL
- ET-DE-P00/044/2006 DER/SP - Concreto compactado com rolo para sub-base ou base de pavimento de concreto de cimento Portland - Concreto rolado
- LTPP-FHWA - *LTPP Data Analysis: Improved Low Pavement Temperature Prediction*. U. S. Department of transportation. Federal Highway Administration. FHWA RD-97-104, 1998.
- MOHSENI, A.; CARPENTER, S. *Development of Enhanced Algorithm for Superpave High Temperature Performance Grade (PG) Selection and New Software Version* - Long-Term Pavement Performance Group, FHWA, 2004.
- NF EN 933-9 - *Tests for Geometrical Properties of Aggregates - Part 9: Assessment of Fines - Methylene Blue Test*
- Procedimento REDE 01/2010 - Uso do programa SisPav
- Procedimento REDE 02/2010 - Determinação da deformação permanente e acomodamento de solos
- Procedimento REDE 03/2010 - Aspectos do ensaio de Módulo de Resiliência de solos e materiais não estabilizados quimicamente
- Procedimento REDE 04/2010 - Determinação da fadiga de misturas betuminosas
- Procedimento REDE 05/2010 - Determinação do *Flow Number*
- Procedimento REDE 06/2010 - Determinação do *Compaction Densification Index* - CDI
- Procedimento REDE 07/2010 - Determinação do *Traffic Densification Index* - TDI
- Procedimento REDE 08/2010 - Método Bailey de escolha granulométrica

Procedimento REDE 09/2010 - Método LPC deformação permanente misturas

Procedimento REDE 10/2010 - Controle de grau de compactação com densímetro não nuclear

NASCIMENTO, L. A. H. *Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente*. Dissertação de mestrado, Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

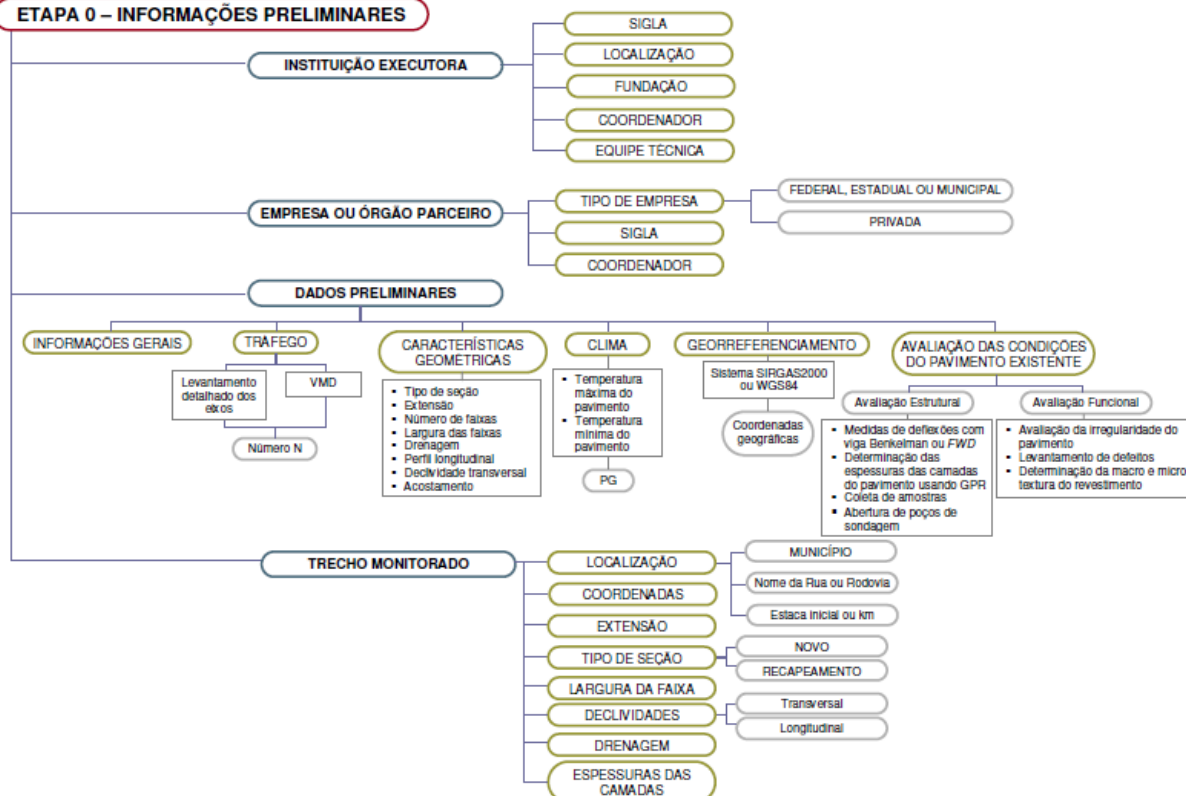
SHRP. *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies*. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. Washington, D.C., 1993.

TRB - *Transportation Research Circular E-C124*. 2007. - *Practical approaches to hot-mix asphalt mix design and production quality control testing*, pp. 12-32, Washington, D.C., EUA, Dezembro.

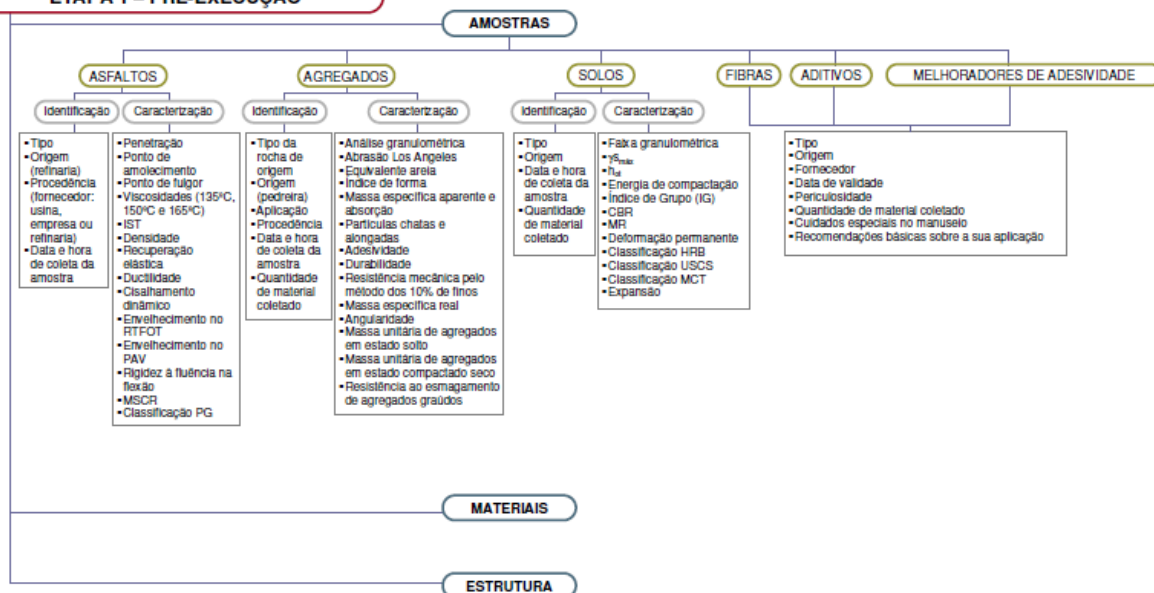
VAVRIK, W. R.; PINE, W. J.; HUBER, G. A. *et al.*, 2001, "The Bailey Method of Gradation Evaluation: The influence of aggregate gradation and packing characteristics on voids in mineral aggregate". Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.70.

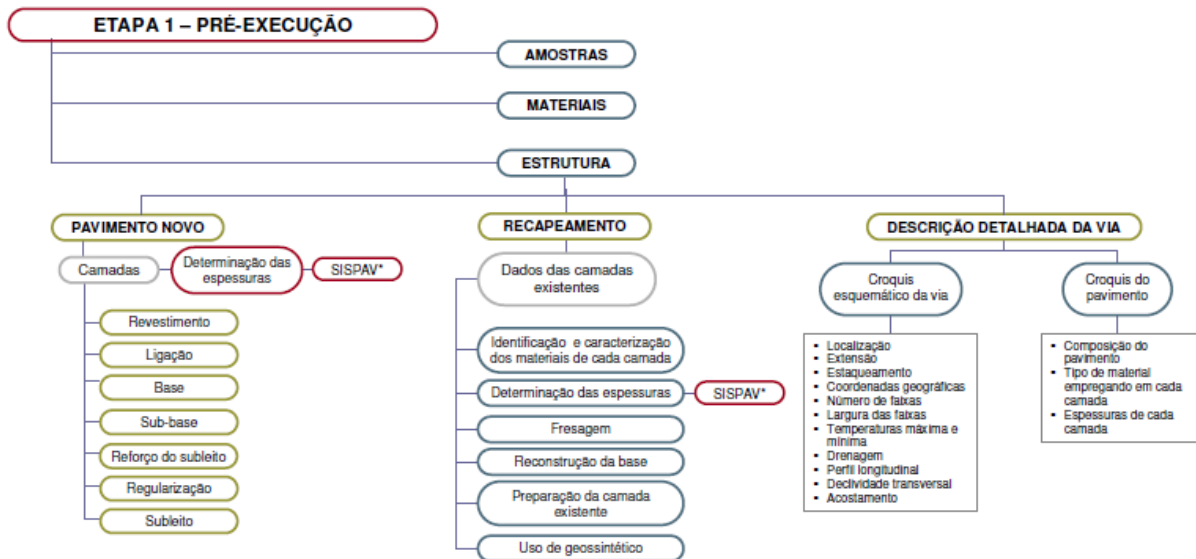
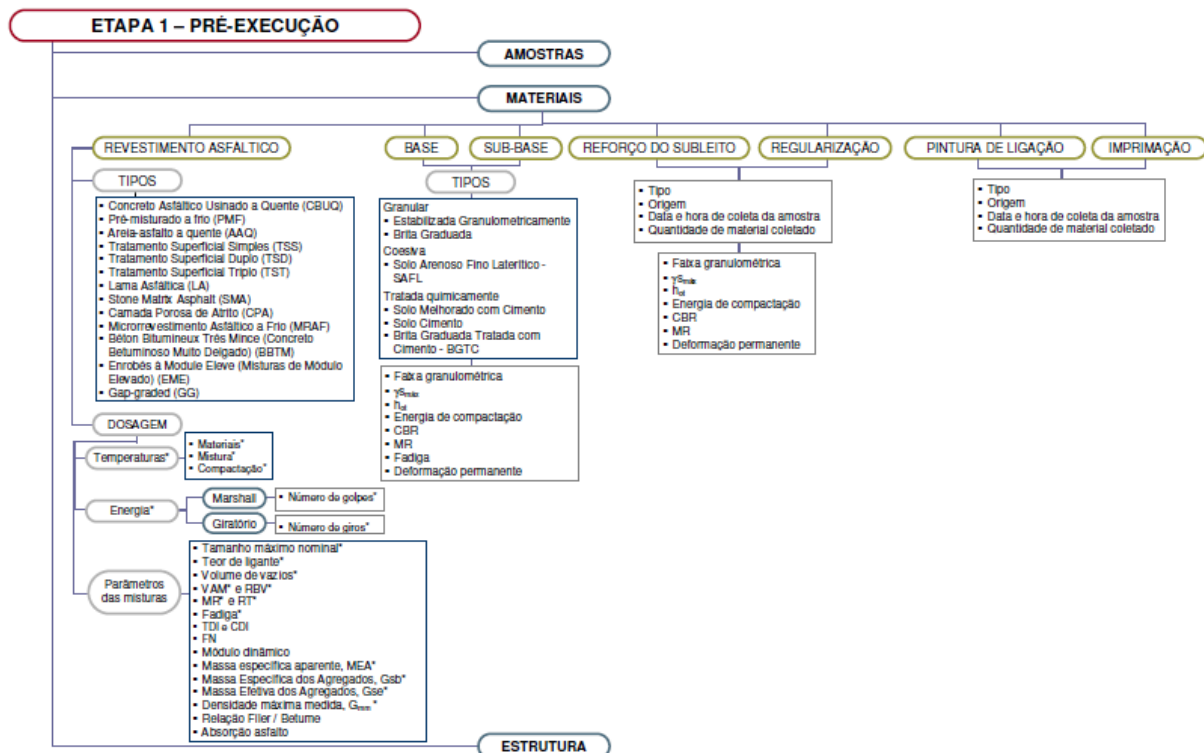
7. FLUXOGRAMAS

ETAPA 0 – INFORMAÇÕES PRELIMINARES

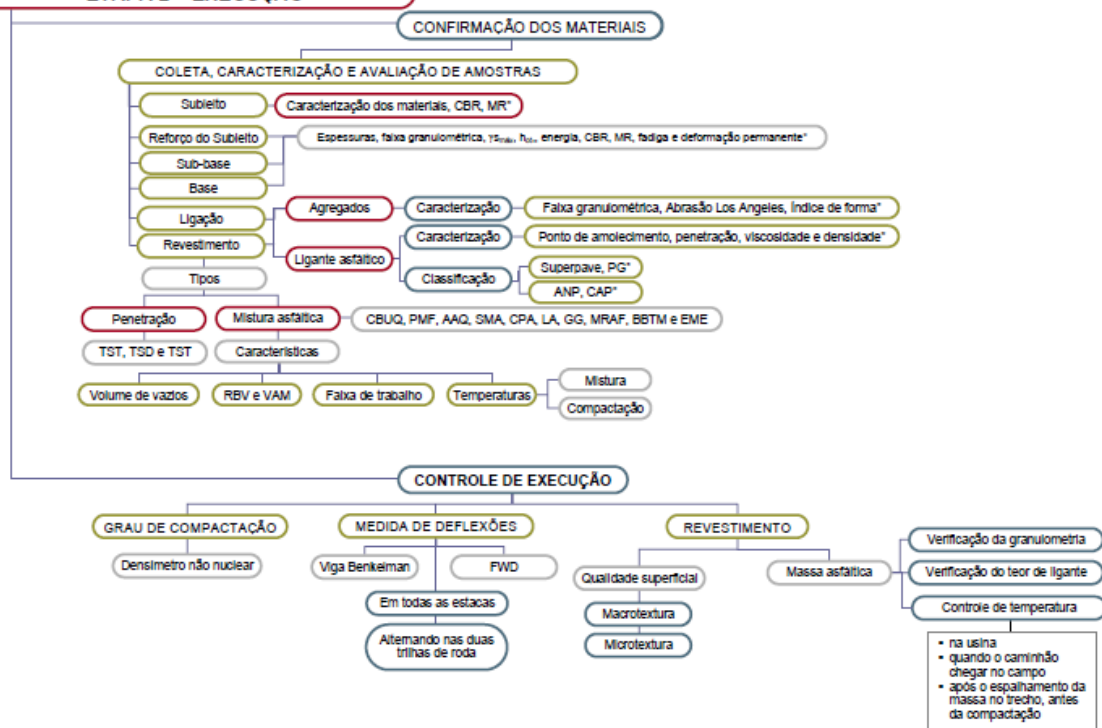


ETAPA 1 – PRÉ-EXECUÇÃO





ETAPA 2 – EXECUÇÃO



ETAPA 3 – PÓS-EXECUÇÃO

