ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS

Manual de Dimensionamento para a Reabilitação de Pavimentos Betuminosos

2019

ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS

Manual de Dimensionamento para a Reabilitação de Pavimentos Betuminosos

Preâmbulo

O Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos (MOPHRH) em Moçambique é responsável pela gestão de estradas de Moçambique através da Administração Nacional de Estradas (ANE) e de zelar pelas normas e especificações para estradas de Moçambique. Este manual fornece guiões a todos os praticantes para a reabilitação de estradas de elevado volume de tráfego de forma apropriada e para as condições de Moçambique. O conteúdo abrange adequadamente todas as áreas técnicas relevantes e onde forem necessários mais detalhes os usuários podem consultar outros documentos referenciados pelo Autor.

O presente manual foi produzido especificamente para Moçambique e deve ser aplicado em todas as suas actividades da ANE.

© Reserva de Direitos: Administração Nacional de Estradas

Prefácio

Estradas revestidas em climas tropicais e sub-tropicais frequentemente deterioram-se de diferentes formas se comparadas com as estradas das regiões mais temperadas devido a condições climáticas relativamente mais severas e também devido a ausência de materiais apropriados para os pavimentos rodoviários. Adicionalmente, as estradas sofrem devido a roturas precoces causadas pelas cargas elevadas por eixo, financiamento inadequado para a manutenção e qualidade de construção variável.

Este manual descreve métodos de avaliação de pavimentos dimensionados para estabelecer a natureza, severidade e extensão da deterioração da estrada. Fornece guiões para o uso de ensaios de pavimento destrutivos e não destrutivos e descreve como o resultado desses testes podem ser interpretados, tanto para identificar as causas de deterioração e para avaliar a resistência da estrada existente. Faz também a revisão de procedimentos de dimensionamentos alternativos para a reabilitação e dá comentários sobre as suas limitações e vantagens.

O manual foi desenvolvido para a reabilitação ou foratelcimento de estradas existentes com uma carga de tráfego de dimensionamento cumulativo acima de 1 milhão de eixos equivalentes padrão (mesa) numa direcção. Se as cargas cumulativas por eixo forem menores que 1 mesa durante o período de dimesnionamento, então deve ser usado o *Manual para a Provisão de Estradas de Baixo Volume de Tráfego.*

Agradecimentos

Este manual foi preparado com os esforços concertados de vários intervenientes de dentro e fora de Moçambique. A imensa constibuição da ANE, os membros dos grupos técnicos, a revisão feita pelos especialistas do Banco Mundial, o MOPHRH e outros intervenientes chave que incluem a academia, consultores, engenheiros municipais, Instituto de Meteorologia, etc… são reconhecidos e muito apreciados. A ANE tomou liderança e guia incluindo a gestão do projecto no geral. Forneceram também informação e todo o apoio necessário para a elaboração do manual. Os membros dos grupos de trabalho, especialistas do Banco Mundial, academia, consultores e engenheiros municipais fizeram a revisão do manual em diferentes fases da sua elaboração e forneceram contribuições valiosas através de discussões técnicas, comentários, edições e adições.

A elaboração deste manual foi financiado pelo Governo de Moçambique através do Ministério da Economia e Finanças e o Fundo de Estradas com o apoio do Banco Mundial.

ANE

Eng. Cesar Macuacua	Director Geral
Eng. Luis Fernandes	Director do Gabinete de Emergências e Coordenador do Projecto
Eng. Irene Simões	Fundo de Estradas
Eng. Miguel Coanai	Director de PLanificação
Eng. Rubina Normahomed	Chefe do Departamento de Gestão da Manutenção
Eng. Anibal Nuvunga	Chefe do Departamento do Plano e Orçamento
Grupo Técnico de Trabalhos	Engenheiros da ANE, MOPHRH, Municípios, Consultores e Academia

Consórcio TRL – Consultor

Piouslin Samuel	Chefe da Equipa
Dr. John Rolt	Autor Chefe
Andrew Otto	Co-Autor

Financiadores

Gov. de Moçambique	MOPHRH, Min da Economia e Finanças, Fundo de Estradas
Representante do Banco Mundial	Kulwinder S. Rao
Revisor do Banco Mundial	Eng. Carlos Matias Ramos

Glossário de Termos

Agregado	Elementos minerais duros de misturas de materiais de construção, por exemplo: areia, material granular (britado ou não) ou rocha britada.
Asfalto	Na literatura americana, o asfalto é também usado para designar betume. O termo é também assim usado em Moçambique. Em outros países, o asfalto é geralmente usado para fazer se referência a betão betuminoso ou, qualquer estudo de mistura betuminosa de alta qualidade.
Betão betuminoso (AC)	Mistura com proporções predefinidas de agregado, ligante e filler misturado e normalmente misturado numa central e aplicado por meio de uma pavimentadora. Este termo é também usado para designar o DBM.
Revestimento betuminoso	camada ou camadas de betão betuminoso construídas sobre camada de base da estrada e, em alguns casos, nas bermas.berma
Tráfego diário médio anual (AADT)	O volume de tráfego total anual em ambas as direcções dividido pelo número de dias no ano.
Tráfego Médio Diário (TMD)	O volume total de tráfego durante um determinado período de tempo em dias inteiros maiores que um dia e menores que um ano dividido pelo número de dias nesse período de tempo.
Camada de Base	Este é a principal componente do pavimento contribuindo para a disseminação das cargas de tráfego. Em muitos casos, consistirá pedra britada ou material granular, de solos de boa qualidade ou rocha decomposta. Também podem ser usadas camadas de base betuminosa (para classes de tráfego mais altas), estabilizados com cimento ou cal.
Camada ligante	camada de ligação inferior ao revestimento betuminoso colocado em mais de uma camada.
Betume	A forma mais comum de betume é o resíduo da refinação de petróleo bruto após o material mais volátil ter sido destilado. É essencialmente um líquido muito viscoso que compreende muitas moléculas orgânicas de cadeia longa. Para uso em estradas, é praticamente sólido à temperatura ambiente, mas pode ser aquecido o suficiente para ser aplicado. Alguns betumes naturais podem ser encontrados em todo o mundo que não são destilados a partir de petróleo bruto, mas as quantidades são muito pequenas em comparação.
Área de empréstimo	Área dentro de limites designados, aprovada com a finalidade de obter material de emprestímo. Uma câmara de empréstimo é o ponto exolado em uma área de empréstimo, usado para extracção de materiais granulares.
Material Emprestado	Qualquer material granular, areia, solo, rocha ou cinzas obtidos de áreas de empréstimo, lixeiras ou outras fontes que não sejam de corte dentro do prisma da estrada e que são usadas nas obras de construção especificadas para um projecto. Não incluindo pedra britada ou areia obtida de fontes comerciais.

Pedregulho/ Rocha	Um fragmento de rocha, geralmente arredondado por intemperismo ou abrasão, com uma dimensão média de 0,30 m ou mais.
Materiais ligados de pavimentação	Materiais de pavimentação mantidos juntos por uma ligação adesiva entre os materiais e outro material de ligação, como betume.
Abaulamento	A convexidade dada à secção transversal curva de uma via.
Leito do Pavimento	(Sub-base seleccionada ou melhorada). O topo do aterro ou fundo da escavação antes da construção da estrutura do pavimento. Onde solos muito fracos e/ou solos expansivos (como solos negros de algodão) são encontrados, às vezes é necessária uma camada de cobertura. Isto consiste em material de leito de melhor qualidade importado de outro lugar ou material de leito melhorado por estabilização (geralmente mecânico), e também pode ser considerado como uma sub-base de menor qualidade.leitoleito
Faixa de rodagem	A parte da estrada incluindo as várias faixas de tráfego e faixas auxiliares, mas excluindo os bermas.berma
Pavimento Composto	Pavimento no qual a estrutura combina uma camada estabilizada hidraulicamente e camadas betuminosas na camada base e/ou superficial.
Junta de Contracção	Uma junta normalmente colocada em intervalos recorrentes em uma laje rígida para controlar fissuras transversais.
Secção transversal	Uma secção vertical ilustrando a elevação do solo existente, dados do solo e trabalhos recomendados, geralmente em ângulo recto com a linha de centro.
Inclinação transversal	A diferença no nível medido transversalmente ao longo da superfície da estrada.
Corte	Corte significa todas as escavações do prisma da estrada, incluindo drenos laterais e escavações para estradas que se cruzam, incluindo, quando classificado como corte, escavações para drenos abertos.
Fragmentos	Pedras usadas para revestimento superficial (tratamento)
Barra Deformada	Uma barra de reforço para lajes rígidas em conformidade com "Requisitos para Deformações" em AASHTO Designations M 31M.
Macadame denso betuminoso	Um tipo de AC normalmente feito usando uma fórmula de receita.
Período de projecto	O período de tempo que uma estrutura de pavimento inicialmente construída ou reabilitada executará antes de atingir um nível de deterioração que requeira mais do que a manutenção de rotina ou periódica.
Tráfego desviado	Trânsito que muda de outra rota (ou modo de transporte) para a estrada do projecto devido ao pavimento melhorado, mas ainda transita entre a mesma origem e destino.
Pino	Dispositivo de transferência de carga em uma placa rígida, geralmente consistindo de uma barra de aço redonda simples. Ao contrário de uma barra de ligação, um pino pode permitir o movimento horizontal.

Eixos Padrão Equivalentes (ESAs)	Medida do dano potencial a um pavimento causado por uma carga de eixo de veículo expressa como o número de cargas de eixo único de 8,2 toneladas métricas que causariam a mesma quantidade de dano. Os valores ESA de todo o tráfego são combinados para determinar o tráfego total de projecto para o período de projecto.
Factores de Equivalência	Usado para converter volumes de tráfego em cargas de eixo padrão equivalentes cumulativas.
Carga Equivalente de Eixo Simples(ESA)	Soma de cargas de eixo único equivalentes de 8,16 toneladas usadas para combinar o tráfego misto para calcular a carga de tráfego de projecto para o período de projecto.
Escarpas	Escarpas são características geológicas que são muito íngremes e se estendem lateralmente por distâncias consideráveis, dificultando ou impossibilitando a construção de uma estrada. São caracterizadas por mais de 50 contornos de cinco metros por km e as inclinações terrestres transversais perpendiculares aos contornos do solo são geralmente superiores a 50%
Junta de expansão	Uma junta localizada para fornecer a expansão de uma laje rígida sem danificar a si mesma, lajes adjacentes ou estruturas.
Enchimento	Material do qual é composta uma estrutura ou depósito criado pelo homem, tal como um aterro, incluindo solo, agregado do solo ou rocha. O material importado para substituir material de leito inadequado também é classificado como preFiller.filler
Pavimentos Flexíveis	Pavimento com uma superfície betuminosa e com uma camada de base com ou sem ligante de hidrocarbonetos. Inclui os pavimentos que têm uma superfície betuminosa (revestimento superficial ou betão betuminoso). Os termos "flexível e rígido" são um pouco arbitrários e foram estabelecidos principalmente para diferenciar entre asfalto e pavimentos de betão de cimento Portland.
Nível de Formação	Nível no topo do leito.
Tráfego Gerado	Tráfego adicional que ocorre em resposta à melhoria da estrada.
Módulo de granulometria (GM)	Relacionado com as percentagens cumulativas por massa de material em amostra representativa de agregado, material granular ou solo retido nospeneiros de 2,36 mm, 0,425 mm e 0,075 mm; $$GM = 3 - \frac{P_{2,36} + P_{0,425} + P_{0,075}}{100}$$ onde: $P_{2,36}$ = percentagem que passa pelopeneiro 2,36 mm $P_{0,425}$ = percentagem que passa pelopeneiro 0,425 mm $P_{0,075}$ = percentagem que passa pelopeneiro 0,075 mm
Veículos Pesados	Veículos que têm um peso descarregado de 3000 kg ou mais.
Misturas betuminosas a quente (AC)	Este é um nome genérico para todas as misturas de agregados e betume de alta qualidade que usam os graus de betume que devem ser aquecidos para fluir suficientemente para revestir os agregados. Inclui Betão betuminoso, macadame de betume denso e asfalto laminado a quente.

Estabilização Hidraúlica	Estabilização de materiais granulares utilizando aglutinantes (hidráulicos) de cimento ou cal.
Manutenção	Trabalho de rotina realizado para manter um pavimento o mais próximo possível de sua condição de construção sob condições normais de tráfego e forças da natureza.
Terreno Montanhoso	Terreno robusto e muito acidentado, com restrições substanciais no alinhamento horizontal e vertical. É definido como tendo 26-50 contornos de cinco metros por km. As inclinações terrestres transversais perpendiculares aos contornos do solo são geralmente superiores a 25%.
Tráfego Normal	Trânsito que passaria ao longo da estrada ou viaa existente, mesmo que não houvesse novo pavimento.
Revestimento	Uma ou mais camadas de construção de asfalto em pavimento existente. O revestimento geralmente inclui uma camada de nivelamento, para corrigir o contorno do pavimento antigo, seguido por uma camada uniforme ou camadas para fornecer a espessura necessária.
Camadas de pavimento	As camadas de diferentes materiais que compõem a estrutura do pavimento.
Especificações do Projecto	As especificações relativas a um projecto específico, que fazem parte dos documentos do contrato para tal projecto, e que contém especificações suplementares e/ou modificadoras das especificações padrão.
Bombeamento	Ejecção de material de fundação, húmido ou seco, através de juntas ou fissuras, ou ao longo de bordas de lajes rígidas resultantes de movimentos verticais da laje sob tráfego.
Pedreira	Uma área dentro de limites designados, aprovada com a finalidade de obter rocha a serrar ou explodir.
Reconstrução	O processo pelo qual um novo pavimento é construído, utilizando principalmente novos materiais, para substituir um pavimento existente.
Reciclagem	Reutilização, geralmente após algum processamento, de um material que já cumpriu sua primeira finalidade.
Reabilitação	Trabalho realizado para ampliar significativamente a vida útil de um pavimento existente. Isso pode incluir revestimentos e reparos de pré-revestimento, e pode incluir a remoção e reconstrução completa do pavimento existente ou a reciclagem de parte dos materiais existentes.
Base da estrada	Uma camada de material de espessura e largura definida no topo da sub-base, ou na sua ausência, o leito. Uma base de estrada pode se estender para fora da faixa de rodagem.
Asfalto	O material *in situ* natural no qual o filler, ou na ausência de filler, de qualquer camada de pavimento, deve ser construído.
Material da camada de estrada	O material abaixo do leito se estende até a profundidade que afecta o suporte da estrutura do pavimento.
Prisma de estrada	A parte da construção da estrada incluída entre o nível do solo original e as linhas externas dos taludes de corte, enchimentos

	laterais e drenos laterais. Não inclui sub-base, base de estrada, revestimento, bermas ou terreno original existente.
Estrada	A área normalmente é percorrida por veículos e consiste em uma ou várias faixas de tráfego contíguas, incluindo faixas auxiliares e bermas.
Terreno Ondulado	Terreno com colinas baixas introduzindo níveis moderados de subida e descida com algumas restrições no alinhamento vertical. Definido como terreno com 11-25 contornos de cinco metros por km. As inclinações transversais do solo perpendiculares aos contornos do solo são geralmente entre 3 e 25%.
Semi-rigído	Pavimentos de pavimento betuminoso e um ou mais camadas tratados com ligantes cimentícios e que contribuem de forma significativa para o seu dimensionamento (ou tratados com ligantes de hidrocarbonetos e que, pela sua rigidez ou espessura, não podem ser considerados estruturalmente flexíveis)
Enchimento lateral	Porção do material importado dentro do prisma da estrada, que se encontra fora dos enchimentos, dos bermas, da base e da sub-base, e está contida em tal declives de superfície, como mostrado nos Desenhos ou conforme orientado pelo Engenheiro. Uma distinção entre enchimentos e enchimento lateral só deve ser feita se especificada.
Dreno Lateral	Dreno longitudinal aberto situado adjacente e no fundo das inclinações de corte ou aterro.
Estabilização	O tratamento dos materiais usados na construção do material do leito rodoviário, camadas de enchimento ou pavimento pela adição de um aglutinante de cimento, como cal ou cimento Portland, ou a modificação mecânica do material através da adição de um aglutinante de solo ou ligante betuminoso. Betão e asfalto não devem ser considerados como materiais estabilizados.
Sub-base	A camada de material de dimensões especificadas na parte superior do leito e abaixo da base de estrada. A camada secundária de distribuição de carga subjacente a camada de base. Geralmente consistindo de um material de qualidade inferior ao utilizado na camada de base e, particularmente, de menor resistência do rolamento. Os materiais podem ser material granular natural não processado, material granular-areia ou material granular-areia-argila, com granulometria controlada e características de plasticidade. A sub-base também serve como uma camada de separação que impede a contaminação da camada de base pelo material de leito e pode desempenhar um papel na drenagem interna do pavimento.
Leito	A superfície sobre a qual a estrutura do pavimento e os bermas são construídos. É a parte superior do solo natural, seja material local não perturbado (mas recompactado) em secções cortadas, ou solo escavado em áreas cortadas ou emprestadas e colocado como aterro compactado.
Dreno Subterrâneo	Dreno coberto construído para interceptar e remover a água do subsolo, incluindo quaisquer canos e material permeável nos drenos.

Tratamento da superfície	A selagem ou resselagem da faixa de rodagem ou ressaltos através de uma ou mais aplicações sucessivas de ligantes betuminosos e quebras de pedra britada.
Pavimento	Este compreende a (s) camada (s) superior (es) do pavimento flexível e consiste numa camada superficial betuminosa ou numa ou duas camadas de material betuminoso pré-misturado (geralmente betão betuminoso). Onde os materiais pré-misturados são colocados em duas camadas, estes são conhecidos como a camada de desgaste e a camada aglutinante
Via	Parte de um trajecto percorrido destinado a um fluxo único de tráfego em uma direcção, que normalmente foi demarcada como tal por marcações rodoviárias.
Volume de Tráfego	Volume de tráfego geralmente expresso em termos de tráfego médio anual (AADT).
Secção Transversal Tipo	Corte transversal de uma estrada mostrando detalhes dimensional padrão e características de construção.
Materiais de pavimentação não ligados	Material granular natural ou processado que não é mantido unido pela adição de um aglutinante tal como cimento, cal ou betume.
Camada de revestimento	Camada superior de uma superfície de asfalto ou, para estradas de material granular, a camada mais alta de construção da estrada feita de materiais especificados.

Abreviaturas

AADT	Tráfego Diário Médio Anual
AASHO	Associação dos servidores Estaduais Rodoviários dos EUA (designação anterior)
AASHTO	Associação dos servidores Estaduais Rodoviários e de Transportes dos EUA
AC	Betão betuminoso
ACV	Valor de Esmagamento do Agregado - uma medida de resistência do agregado
ASTM	Sociedade Americana para Ensaios de Materiais
BS	Norma britânica
CBR	Relação de Rolamento Califórnia (conforme descrito em AASHTO T 193)
CRCP	Pavimento de Betão Continuamente Reforçado.
cv	Veículos comerciais definidos como aqueles com mais de 15 kN de peso sem carga.
DCP	Cone de Penetração Dinâmico
GB	Camada de base granular
GS	Sub-base granular
GC	Camada de cobertura
m_2, m_3	Coeficientes de drenagem. Factores usados para modificar os coeficientes de camada em pavimentos flexíveis para levar em conta o clima, a eficácia da drenagem do pavimento interno e a sensibilidade à humidade
ESA	Eixos padrão equivalentes. Uma medida do efeito prejudicial dos eixos do veículo.
GM	Módulo de granulometria
HMA	Mistura de Asfalto a quente
ICL	Ensaio inicial de Consumo de Cal
LAA	Valor de Abrasão de Los Angeles Abrasion - uma medida de resistência do agregado
MDD	Densidade Máxima Seca
NDT	Ensaio não-destrutivo
a_1, a_2, a_3	Coeficientes de resistência. Os coeficientes de resistência empírica usados para ponderar a contribuição de cada camada do pavimento para o número estrutural geral (SN). São modificados pelos coeficientes de drenagem (ver acima).
NDT	Ensaio não-destrutivo
PMS	Sistema de gestão de pavimentos
RRD	Deflexão de ressalto representativa
S1 to S6	Classes de resistência do leito usadas para caracterizar o leito no projecto do pavimento.

SN and MSN	Número Estrutural e Número Estrutural Modificado. Um índice de resistência geral do pavimento com base nas espessuras e resistências de cada camada de pavimento.
SN_{eff} and MSN_{eff}	Número Estrutural Efectivo de um pavimento existente.
T1 to T10	Classes de tráfego usadas para caracterizar o tráfego previsto em termos de ESA para fins de dimensionamento de pavimentos flexíveis.
h_1, h_2, h_3	Espessuras das camadas de revestimento, base e sub-base do pavimento (existentes ou exigidas).
TRL	Laboratório de Pesquisa de Transporte, no Reino Unido (antigo TRRL)
TRRL	Laboratório de Pesquisa de Transporte e Estradas, Reino Unido
VOC	Custos Operacionais de Veículos
VFB	Vazios preenchidos com betume
VIM	Vazios em Misturas
VMA	Vazios no agregado mineral

Índice

PREÂMBULO ..... **I**
PREFÁCIO ..... **II**
AGRADECIMENTOS ..... **III**
GLOSSÁRIO DE TERMOS ..... **IV**
ABREVIATURAS ..... **X**
ÍNDICE ..... **XII**
LISTA DE TABELAS ..... **XV**
LISTA DE FIGURAS ..... **XVI**
1 INTRODUÇÃO **1**
1.1 Âmbito 1
1.2 Princípios de Dimensionamento 2
1.3 Processo de Dimensionamento 2
1.4 Organização do Manual 4
2 COLECTA DE DADOS- ESTUDO TEÓRICO **5**
2.1 Objectivo 5
2.2 Fonte de Dados 5
2.2.1 Sistema de Gestão de Pavimentos (PMS) *5*
2.2.2 Outras fontes *5*
2.3 Dados a serem recolhidos 5
2.3.1 Dados de Inventário Fixo *5*
2.3.2 Dados de condição da estrada a partir de ensaios não-destrutivos *5*
2.3.3 Dados de condição da estrada a partir de ensaios destrutivos *6*
2.3.4 Dados de Tráfego e carga por eixo. *6*
2.3.5 Dados de Arquivo *6*
2.3.6 Outros dados relevantes *7*
2.4 Interpretação de Dados Existentes 7
2.4.1 Identificação da secção preliminar uniforme *7*
2.4.2 Carga de tráfego suportada pelo pavimento *7*
3 LEVANTAMENTOS DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO **9**
3.1 Levantamento visual contínuo 9
3.2 Medições de Rugosidade 9
3.3 Levantamento detalhado da condição do pavimento 10
3.3.1 Variabilidade *10*
3.3.2 Correlacionar medições *11*
3.3.3 Onde testar *11*
3.4 Medições de Deterioração 11
3.5 Fissuras 13
3.5.1 Tipo *14*
3.5.2 Intensidade *14*
3.5.3 Posição *14*
3.5.4 Largura *14*
3.5.5 Extensão *16*
3.6 Buracos e Remendos 16
3.7 Roturas nos Bordos e Condição das Bermas 17
3.8 Deformação do Pavimento 17
3.8.1 Rodeiras *17*

3.8.2 Depressões 18
3.9 DEFEITOS DO PAVIMENTO 19
3.9.1 Exsudação e "Inchaço" 19
3.9.2 Desgaste e Descasque 20
3.9.3 Perda de agregado do revestimento superficial 20
3.9.4 Corrugações 20
3.9.5 Resistência à derrapagem e polimento de agregado 20
3.9.6 Polimento de Agregado 21
3.10 DETERIORAÇÃO CAUSADA PELA FRACA DRENAGEM 22

4 AVALIAÇÃO E ANÁLISE DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO DA ESTRADA 23

4.1 INTRODUÇÃO DE DADOS, INTERCALAÇÃO E LIMPEZA 23
4.2 ANÁLISE PARA DETERMINAR O ÍNDICE DE CONDIÇÃO 23
4.3 GRÁFICOS DE DESEMPENHO 24
4.4 TRATAMENTO DE DEFEITOS LOCALIZADOS NO PAVIMENTO 27

5. MEDIDAS ESTRUTURAIS 30

5.1 ENSAIOS DE DEFLEXÃO 30
5.2 ENSAIO DE CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICO 33
5.3 AMOSTRAGEM DESTRUTIVA E ENSAIO DE MATERIAL 34
5.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM 35

6. SEPARAÇÃO DE DADOS EM SECÇÕES HOMOGÊNEAS 36

6.1 OBJECTIVO 36
6.2 MÉTODO DE SOMA CUMULATIVA 36
6.3 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO 37

7. IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO 38

7.1 INTRODUÇÃO 38
7.2 RODEIRA SEM ESCAVAÇÃO 38
7.2.1 Indicação 38
7.2.2 Possíveis causas 39
7.2.3 Compactação Secundária 39
7.3 RODEIRA COM CORRUGAÇÃO 39
7.3.1 Indicação 39
7.3.2 Possíveis causas 40
7.4 FISSURAS NA VIA - REVESTIMENTO COM BETÃO BETUMINOSO 41
7.4.1 Indicação 41
7.4.2 Possíveis causas 41
7.4.2.1 Oxidação 41
7.4.2.2 Esforços excessivos nas camadas ou leito do pavimento 41
7.4.2.3 Fraca qualidade de controlo durante a construção 42
7.4.2.4 Fraca ligação do revestimento à base 42
7.4.2.5 Reflexão das camadas subjacentes 43
7.5 FISSURAS NA TRAJECTÓRIA DAS RODAS - REVESTIMENTO BETUMINOSO FINO 43
7.5.1 Indicações 43
7.5.2 Possíveis causas 43
7.5.2.1 Flexão excessiva 43
7.5.2.2 Fissuras de Reflexão 43
7.5.2.3 Ligante fraco 43
7.6 FISSURAS FORA DA VIA - REVESTIMENTO COM BETÃO BETUMINOSO 44
7.6.1 Indicações 44
7.6.2 Possíveis Causas 44
7.6.3 Fissuras Transversais 45
7.6.4 Fissuras em Bloco 46
7.6.5 Fissura do Tipo Pele de crocodilo 46
7.6.6 Fissura fora da via - selagem betuminosa fina 46

7.7 RESUMO DO PROCESSO DE DIAGNÓSTICO 47
7.7.1 Fissura do Tipo "Pele de crocodilo" 54
7.7.2 Fissuras fora da via - Revestimento betuminoso fino 54
7.8 CONSIDERAÇÕES DE CONSTRUÇÃO 54
7.8.1 Fraqueza estrutural profunda 54
7.8.2 Defeitos de pavimentação estrutural 55
7.8.3 Controlo da fissura de reflexão 55
7.8.4 drenagem subterrânea 55
7.8.5 Fresagem-Reciclagem.....55
7.8.6 Reciclagem de pavimentos 56
7.8.7 Bermas.....56
7.8.8 Reconstrução de pavimentos flexíveis.....56

8. DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO E REABILITAÇÃO..... 57

8.1 DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO 57
8.1.1 Estimativa da deficiência estrutural 57
8.2 DESAFIOS NOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO 59
8.3 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO EMPÍRICO 60
8.3.1 Tráfego de dimensionamento 60
8.3.2 Estrutura Requerida 60
8.3.3 Espessura do revestimento 61
8.3.4 Racionalização da espessura de projecto.....64
8.4 UTILIZAÇÃO DO MÉTODO EMPRÍCO COM DADOS PARCIAIS 65
8.4.1 Conjunto de dados completos. 65
8.4.2 Ambos dados de deflexão e DCP estão disponíveis, mas eles não correspondem aos mesmos locais 65
8.4.3 Apenas dados do DCP; Os dados de deflexão não estão disponíveis.....65
8.4.4 Dados de deflexão estão disponíveis, mas não há dados do DCP 66
8.5 MÉTODO DE DEFLEXÃO.....66
8.5.1 Medição e Correcção de Deflexões.....68
8.5.2 Gráfico de Desempenho.....69
8.5.3 Capacidade de tráfego 70
8.5.4 Cálculo da espessura do revestimento 70
8.6 MÉTODO MECANÍSTICO/ANALÍTICO 70

9. SELECÇÃO DE ALTERNATIVA PREFERENCIAL 74

9.1 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO.....74
9.2 QUESTÕES DO NÍVEL DO PROJECTO 74
9.3 ANÁLISE DE CUSTO DO CICLO DE VIDA 75
9.3.1 Principais custos 75
9.3.2 Factores de desconto e outros problemas de "Política Central".....76
9.4 OPÇÃO DE REABILITAÇÃO PREFERENCIAL.....76

10. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA..... 78

APÊNDICE A MÉTODO DO NÚMERO ESTRUTURAL 82
APÊNDICE B MEDIÇÕES DO DCP 91
APÊNDICE C MEDIÇÕES DE RUGOSIDADE..... 98
APÊNDICE D MEDIDAS DE DEFLEXÃO 109
APÊNDICE E RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM 119
APÊNDICE F POÇO DE ENSAIO E MATERIAIS DE TESTAGEM..... 124
APÊNDICE G RECICLAGEM DE MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO..... 131
APÊNDICE H FORMULÁRIO DE PESQUISA DAS CONDIÇÕES DE ESTRADAS REVESTIDAS 152

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 Valores médios do ESA para cada classe de veículos....8
Tabela 3-1 Dados e defeitos superficiais comuns a serem registados.... 12
Tabela 3-2 Avaliação visual da textura da superfície....21
Tabela 3-3 Avaliação visual do polimento de agregado.... 22
Tabela 4-1 Defeitos de Revestimento - Estradas com ligantes betuminosos finos....28
Tabela 4-2 Defeitos de Revestimento - Estradas com Superfícies AC.... 29
Tabela 5-1 Métodos de Medição de Deflexão....30
Tabela 5-2 Valores sugeridos de "resistência à derrapagem....35
Tabela 7-1 Reparação e Reabilitação de Estradas com Pavimento Revestido (sem Revestimento em betão betuminoso)....48
Tabela 7-2 Reparação e Reabilitação de Estradas com Pavimento em betão betuminoso.... 50
Tabela 8-1 Valores dos Factores de fiabilidade de Revestimento....63
Tabela 8-2 Critério de Deficiência Estrutural....64
Tabela A-1 Coeficientes de resistência da camada de pavimento.... 84
Tabela A-2 Coeficientes do modelo numérico estrutural ajustado....86
Tabela A-3 Números estruturais alvos para diferentes estruturas.... 88
Tabela C-1 Escala de Estimativa da Rugosidade das Estradas para Estradas Revestidas com Revestimento de Betão Betuminoso ou Revestimento Superficial....99
Tabela D-1: Repetibilidade de ensaios de deflexão transitória duplicados....112
Tabela D-2 Posições recomendadas do sensor....117
Tabela E-1 Granulometria da areia.... 121
Tabela E-2 Padrões de profundidade de textura no Reino Unido....121
Tabela E-3 Valores sugeridos de resistência mínima à derrapagem.... 124
Tabala F-1. Possíveis informações da investigação do poço de ensaio....129
Tabela G-1Locais de amostragem de carote....140
Tabela G-2 Detalhes dos locais da estrada.... 141
Tabela G-3 Resumo da composição da camada: Estudo de caso 1....142
Tabela G-4 Exemplo de mistura de agregado fresco e RAP: Estudo de caso 1.... 143
Tabela G-5 Resultados de ensaios de desempenho em laboratório para um mistura reciclada: Estudo de caso 1....143
Tabela G-6 Espessura dos carotes: estudo de caso 2.... 144
Tabela G-7 Conteúdo de VIM e betume: Estudo de caso 2....144
Tabela G-8 Granulometria do agregado: Estudo de Caso 2....145
Tabela G-9 Penetração de betume RAP misturado com betume fresco: Estudo de Caso 2....146
Tabela G-10 Um exemplo de mistura de agregado fresco e RAP: Estudo de caso 2....147
Tabela G-11 Resultados de ensaios de desempenho de laboratório para um mistura reciclada: Estudo de caso 2 147

Lista de Figuras

Figura 1-1 Resumo do Processo de Dimensionamento..... 3
Figura 3-1: Excerto do Formulário de estudo de campo para Avaliação de Pavimentos.....13
Figura 3-2: Tipos de Fissuras..... . 15
Figura 3-3: Medidor de Largura da Fissura..... 15
Figura 3-4: Extensão de Buracos e Remendos.....16
Figura 3-5: Perfil do Carote Transversal para Investigar a Rodeira..... 18
Figura 3-6: Bordo recto e cunha calibrada.....19
Figura 4-1 Índice de Condição do Pavimento..... 24
Figura 4-2 Exemplo de Gráficos de Desempenho.....27
Figura 5-1 Exemplo de uma correlação entre a deflexão e a profundidade da rodeira.....31
Figura 5-2 Parâmetros de deflexão plotados ao longo da estrada.....33
Figura 6-1 Gráfico de soma cumulativa típica..... 37
Figura 7-1 Rodeira sem Escavação.....39
Figura 7-2 Rodeira com Escavação.....40
Figura 7-3 Fissura na via - Revestimento em betão Betuminoso..... 42
Figura 7-4 Fissuras fora da via - Revestimento em Betão Betuminoso..... 45
Figura 7-5 Fissuras Transversais.....46
Figura 8-1 Gráfico de Deficiência Estrutural (Exemplo).....59
Figura 8-2 Relação entre SNP e Deflexão Central (exemplo)..... 60
Figura 8-3 Espessura do Revestimento.....62
Figura 8-4 Distribuição de Frequência de Espessuras de Revestimento..... 63
Figura 8-5 Profundidade da rodeira/deflexão da rotina.....67
Figura 8-6 Deflexão Padrão e Capacidade de Transporte de Tráfego (Exemplo).....68
Figura 8-7 Calibração do Critério de ciclo de vida da Deflexão..... 69
Figura B-1 Cone de Penetração Dinâmico..... 92
Figura B-2: Efeitos do DCP na presença de pedras grandes..... 93
Figura B-3 Folha de Ensaio de DCP no Campo..... 95
Figura B-4 Resultado típico do ensaio de DCP.....96
Figura B-5 Relações DCP-CBR.....97
Figura C-1 Operação do Merlin.....102
Figura C-2 Folha de dados Merlin..... 104
Figura C-3 Representação diagramática da unidade integradora montada num veículo.....105
Figura C-4 Um Exemplo de um levantamento de rugosidade.....107
Figura C-5 Exemplo de uma calibração RTRRMS..... 108
Figura D-1 Representação Diagramática da viga Benkelman.....109
Figura D-2: Representação diagramática do FWD.....115
Figura D-3 Perfil de Deflexão FWD.....118
Figura D-4 Posição do veículo e viga enkelman Beam para fazer medições de deflexão de ressalto estático em pavimentos rígidos..... 119
Figura E-1 Dispositivo portátil de Medição de resistência à derrapagem.....122
Figura F-1 Registo de poço de ensaio..... 127
Figura G-1 Reciclagem de pavimento de betão de cimento Portland.....152
Figura H-1 Formulário de Pesquisa das Condições de Estradas Revestidas 153

1 Introdução

1 Introdução

À medida que a rede de estradas revestidas em Moçambique cresce, uma mudança gradual na ênfase irá ocorrer de novo dimensionamento e construção para manutenção e reabilitação de estradas existentes. O presente manual fornece orientação sobre a avaliação da condição de estradas existentes e descreve métodos de dimensionamento de reabilitação, manutenção e reparos importantes. O principal objectivo é preparar projectos que optimizem os custos do ciclo de vida e, ao mesmo tempo, atinjam o desempenho de engenharia necessário.

1.1 Âmbito

Estradas revestidas em climas tropicais e subtropicais deterioram-se frequentemente de formas diferentes daquelas nas regiões mais temperadas do mundo, devido às condições climáticas relativamente adversas e muitas vezes à falta de bons materiais de pavimentação. Além disso, as estradas frequentemente sofrem com roturas aceleradas causadas por altas cargas por eixo, financiamento inadequado para manutenção e qualidade variável de construção.

O presente manual descreve métodos de avaliação de pavimentos projectados para estabelecer a natureza, severidade e extensão da deterioração da estrada. Fornece orientação sobre o uso de ensaios de pavimentação não destrutivos e destrutivos e descreve como os resultados desses ensaios podem ser interpretados, tanto para identificar as causas da deterioração quanto para avaliar a resistência da estrada existente. Também analisa procedimentos alternativos de dimensionamento de reabilitação e comenta suas limitações e vantagens.

Muitas estradas antigas que precisam de ser fortalecidas ou reabilitadas podem não ter sido projectadas usando os padrões actuais. De facto, alguns podem simplesmente ter evoluído ao longo de muitos anos a partir do caminhos sem melhoria sistemática ao longo de muitos anos. Portanto, podem não ser apenas as suas propriedades estruturais que precisam ser aprimoradas e actualizadas. Em particular, os padrões geométricos da estrada podem não atender às especificações actuais e aos padrões de segurança e é muito provável que o dimensionamento de alguns recursos de drenagem precise ser actualizado. De facto, a drenagem deficiente ou inadequada pode ser uma das razões pelas quais as roturas ocorreram. Todos os aspectos da estrada existente precisarão ser revistos e muitos podem precisar ser melhorados para atender aos padrões modernos.

O manual foi desenvolvido para a reabilitação ou fortalecimento de estradas existentes com e uma carga cumulativa de tráfego superior a 1 milhão de eixos padrão equivalentes (mesa) e até 100 milhões de eixos padrão equivalentes cumulativos em uma direcção.

Se o carregamento acumulado do eixo for menor que 1 mesa durante a vida útil, então o *Manual para a Provisão de Estradas de Baixo Volume* deve ser usado.

Pavimentos que incluem uma camada de betão de cimento Portland de alta resistência são chamados de pavimentos "rígidos" e são projectados em diferentes princípios. O projecto de pavimentos rígidos não está incluído neste manual.

1.2 Princípios de Dimensionamento

Todas as estradas se deterioram com o tempo como resultado do tráfego e dos efeitos ambientais. A deterioração pode ser relativamente fácil de corrigir ou pode exigir grandes obras, dependendo das causas e extensão da deterioração.

A identificação dessas causas é, portanto, de suma importância. Aplicar o tratamento de reparação errado pode ser um desperdício de tempo e dinheiro. Assim, o princípio básico é avaliar a estrada para diagnosticar a causa (ou causas) da deterioração e a gravidade da deterioração, de modo que o tratamento de reparação correcto possa ser aplicado. O tratamento de reparação apropriado pode se enquadrar em qualquer uma das seguintes categorias, excepto, possivelmente, as duas primeiras (manutenção de rotina e reparação de emergência).

1. Manutenção de rotina - manutenção que precisa de ser feita em intervalos relativamente curtos, como corte de relva e limpeza de valas de drenagem.
2. Manutenção de emergência - manutenção que deve ser feita imediatamente como resultado de um problema inesperado, por ex. remover a queda de pedras.
3. Manutenção periódica - manutenção que precisa ser feita em intervalos maiores de, digamos, 5-10 anos, e. revestimento superficial. Normalmente, esta categoria exclui o fortalecimento estrutural.
4. Reabilitação - este termo é comummente usado quando o fortalecimento estrutural é necessário e inclui cobertura.
5. Reconstrução - isso geralmente significa que pelo menos uma camada do pavimento precisa ser reprocessada.
6. Melhoramento - isso geralmente significa que o fortalecimento e algum realinhamento são necessários.
7. Manutenção preventiva e correctiva

O presente manual está principalmente preocupado com a reabilitação, reconstrução e modernização, mas as actividades que normalmente compreendem a manutenção periódica são incluídas quando necessário.

Os métodos mais recomendados de dimensionamento de reabilitação baseiam-se na suposição de que as reparações são realizadas em tempo útil, ou seja, antes que a deterioração tenha progredido demais; em outras palavras, quando uma estrada atingiu uma condição "crítica" em vez de "rotura". Nestas circunstâncias, métodos de fortalecimento relativamente rotineiros podem ser usados e o elemento de risco é baixo. Quando os pavimentos de estradas se deterioraram além desse estado "crítico", as estratégias de reabilitação tendem a ser muito conservadoras, muitas vezes exigindo uma reconstrução completa. Identificar o estado "crítico" é, portanto, um aspecto importante do processo de dimensionamento de reabilitação, se os custos devem ser minimizados.

1.3 Processo de Dimensionamento

As estradas podem deteriorar-se (e romper) de muitas maneiras diferentes e as reparações que estas exigem dependem das causas da deterioração. O princípio orientador de reparar ou reabilitar uma estrada é o primeiro a determinar a causa ou causas da deterioração e o grau em que a deterioração progrediu. Este é um

procedimento de diagnóstico que depende da complexidade do problema. O procedimento é abrangente e aplicável em todos os casos; no entanto, o esforço necessário em cada estágio pode variar consideravelmente. O processo completo de avaliação de uma estrada, seleccionando métodos apropriados de manutenção ou reabilitação e projectando-os está resumido na Figura 1-1.

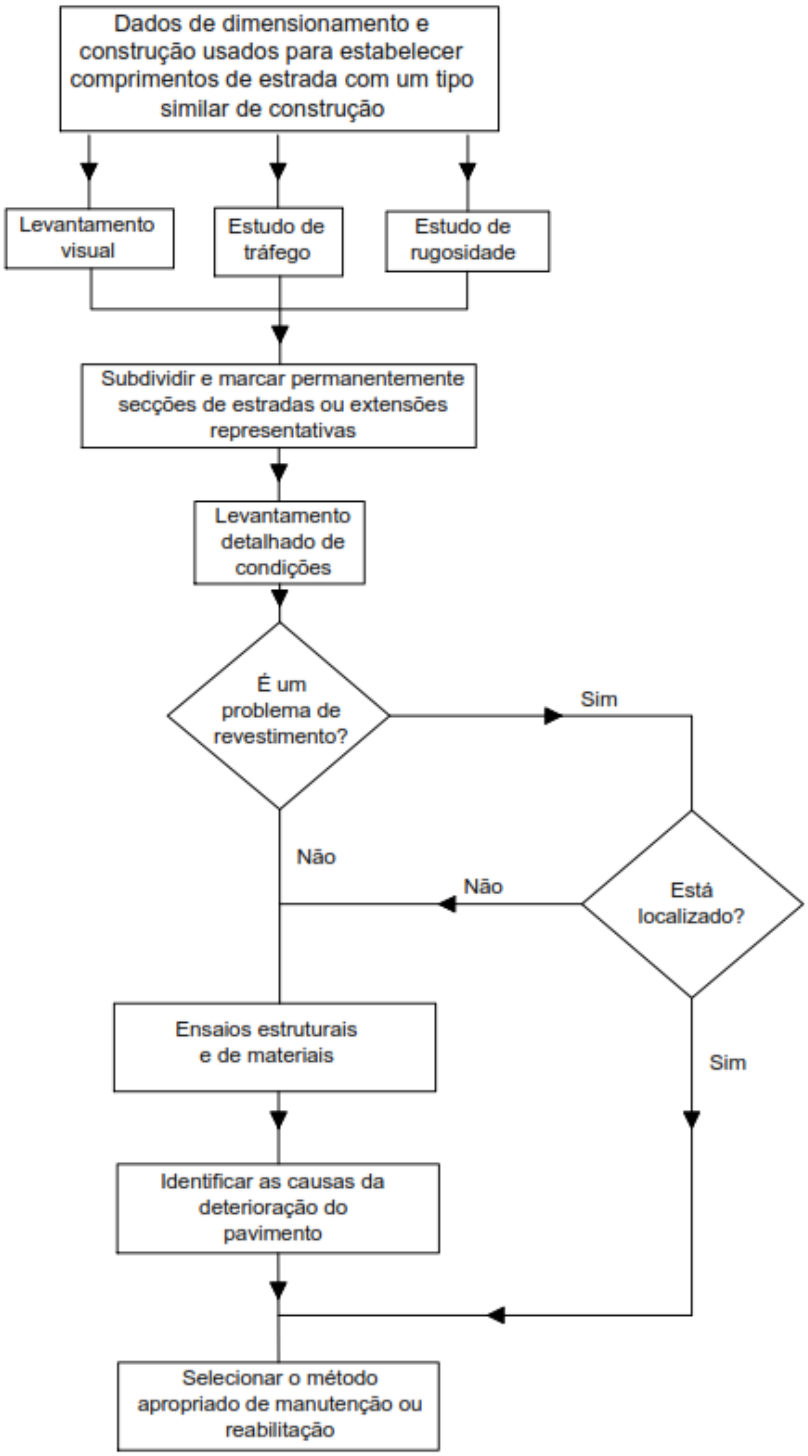


Figura 1-1 Resumo do Processo de Dimensionamento

1.4 Organização do Manual

Procedimentos diagnósticos seguem um padrão lógico. A etapa inicial requer medidas simples e, portanto, de baixo custo, mas progride para levantamentos mais detalhados até que informações suficientes para a confirmação das conclusões e para o projecto final de engenharia tenham sido obtidas. O Capítulo 2 fornece informações a serem recolhidadurante um estudo teórico inicial. Inventários de estradas anteriores, estruturas de pavimentação *as-built*, preços unitários, etc., são reunidos como parte deste estudo teórico, e de preferência antes de iniciar a colecta de dados adicionais no campo. Um aspecto importante dessa tarefa consiste em recolher dados de tráfego relevantes.

A condição de superfície actual desempenha um papel vital no dimensionamento de reabilitação ou fortalecimento. Os métodos de caracterização da condição da superfície incluem levantamentos visuais do rastreio do vento, medições da profundidade da rugosidade e da rodeira e levantamentos detalhados das condições (Capítulo 3). A análise desses dados fornece informações sobre se os defeitos são localizados e menores, o que poderia ser tratado por reparações localizadas, ou se são necessários dados adicionais para o engenheiro identificar os modos de deterioração e suas causas (Capítulo 4).

O Capítulo 5 descreve os ensaios estruturais que são necessários, ou seja, medições de deflexão e medidas do Cone de Penetração Dinâmico (DCP) para determinar as espessuras e resistências da camada, e também o uso de ensaios para obter dados mais detalhados.

O Capítulo 6 descreve como identificar secções da estrada suficientemente uniformes para serem tratadas da mesma maneira.

Capítulo 7 é o capítulo chave onde as causas de deterioração em cada secção uniforme são identificadas junto com os métodos possíveis de reabilitação ou reparação.

O Capítulo 8 está voltado ao dimensionamento dos tratamentos para a reabilitação.

O Capítulo 9 fornece conselhos sobre como seleccionar a melhor opção se vários forem viáveis.

Os Apêndices fornecem informações detalhadas adicionais sobre muitos aspectos do processo de reabilitação.

2 Colecta de Dados- Estudo Teórico

2 Colecta de Dados- Estudo Teórico

2.1 Objectivo

O processo de diagnóstico deve começar a partir de informações simples e prontamente disponíveis. Este capítulo fornece orientação sobre os dados que podem estar disponíveis de antemão, as fontes e fornece orientação para usar os dados antes que o trabalho de campo seja realizado. Tal estudo teórico pode influenciar a escolha de investigações de campo que são necessárias e podem melhorar a eficácia das investigações no local.

2.2 Fonte de Dados

2.2.1 Sistema de Gestão de Pavimentos (PMS)

A ANE possui um Sistema de Gestão de Pavimentos que contém dados de inventário, condição e tráfego que são actualizados regularmente, mas os dados de condição da estrada são geralmente obtidos em intervalos menos frequentes ao longo da estrada do que o necessário para propósitos de dimensionamento de reabilitação.

O PMS geralmente funciona em três níveis: planificação estratégico, gestão de rede e nível de projecto individual. No nível de rede, o PMS fornece informações sobre a selecção e o projecto preliminar dos projectos a serem realizados no futuro próximo, geralmente no próximo exercício financeiro. No nível do projecto, várias alternativas de tratamento são consideradas e comparadas. Dados relevantes, que são usados para os três níveis de planificação, podem ser usados durante o estudo documental.

2.2.2 Outras fontes

Outras fontes incluem:

1. A ANE - sedee outros escritórios que lidam com planificação da manutenção, gestão de tráfego e estudos de tráfego.
2. Relatórios do projecto
3. Resultados do ensaio para os ensaios realizados ao longo da estrada.

2.3 Dados a serem recolhidos

Os dados a seguir devem ser recolhidos das fontes listadas acima.

2.3.1 Dados de Inventário Fixo

Esses dados incluem faixas de rodagem e larguras dos bermas, detalhes de alinhamento, número e tipo de estruturas, etc.

2.3.2 Dados de condição da estrada a partir de ensaios não-destrutivos

A rugosidade é um indicador muito directo da condição da estrada. Toda deterioração aumenta a rugosidade de alguma forma, portanto, o perfil de rugosidade é um indicador muito bom da condição comparativa de todas as secções da estrada e um indicador muito bom dos limites entre secções que são relativamente uniformes (Apêndice C).

Ensaios de deflexão para o PMS são normalmente realizadas usando um viga benkelman ou Deflectómetro de Impacto (Apêndice D). Ao interpretar os dados de deflexão, é vital verificar as cargas de teste que foram usadas. Normalmente, a deflexão aumenta linearmente com a carga da roda, portanto, as medições feitas com uma carga podem ser facilmente convertidas naquelas que seriam obtidas com uma carga diferente.

2.3.3 Dados de condição da estrada a partir de ensaios destrutivos

Os dados são obtidos a partir do asfalto, escavação de poços de ensaio ou trincheiras e ensaios laboratoriais das amostras assim obtidas. Eles incluem algumas informações sobre o leito, materiais de pavimentação e estrutura do pavimento como segue,

a. Tipo de material, espessura das camadas, tamanho máximo dos agregados de cada camada, densidade e resistência de cada camada, etc., incluindo detalhes de qualquer camada de asfalto.

b. Para o leito; densidade, teor de humidade *in situ*, granulometria, limites de Atterberg, classificação de acordo com os sistemas AASHTO e/ou USCS, e CBR *in situ* obtido da correlação com o ensaio DCP.

Esses dados geralmente não são recolhidos regularmente como parte de um estudo de PMS. No entanto, alguns desses dados podem estar disponíveis em registos de *sites* e relatórios de consultores.

2.3.4 Dados de Tráfego e carga por eixo.

Os dados devem normalmente incluir AADTs, classe do tráfego entre as várias categorias de veículos e dados de carga por eixo dentro de cada categoria. Se os dados de tráfego disponíveis já tiverem sido processados e estiverem disponíveis somente em termos de amplas classes de tráfego e eixos equivalentes cumulativos, pode ser necessário recolher novos dados para reprocessá-los em termos de outros parâmetros. A utilidade dos dados de tráfego existentes dependerá muito se eles estão suficientemente actualizados. No entanto, eles devem ser um complemento valioso para a avaliação do tráfego feito para o projecto específico em consideração. Em alguns casos, eles podem ser suficientemente recentes, confiáveis e completos para serem usados, pelo menos em parte, no projecto.

2.3.5 Dados de Arquivo

Isso inclui dados como: os desenhos apresentados como construídos; idades das estruturas do pavimento; preços unitários das obras de estrada; custos operacionais do veículo; dados geoclimáticos e quaisquer outros dados sobre a estrada que pode ter sido adquirida desde a construção. Informações gerais sobre estrutura e histórico do pavimento devem normalmente ter sido disponibilizadas ao PMS através das Divisões de Contrato ou Manutenção da ANE e incluem:

- Número e espessura das camadas do pavimento (superfície, base e sub-base), juntamente com uma descrição do material de cada camada (asfalto, betão, tratamento de superfície, agregados de basalto britados, etc.)
- A data de construção ou reabilitação da estrutura do pavimento.
- Tipo e data das principais actividades de manutenção periódica.

Taxas unitárias de obras de estrada também devem estar disponíveis entre os dados nos registos do PMS. Esses custos são úteis na comparação económica das alternativas

viáveis de reabilitação. Os custos operacionais do veículo (VOC) normalmente não devem ter impacto no dimensionamento de um projecto específico já seleccionado para reabilitação.

2.3.6 Outros dados relevantes

Além do acima exposto, uma revisão de quaisquer outros documentos relevantes deve ser realizada antes das actividades de campo. Tal revisão é semelhante ao estudo realizado para o estudo de viabilidade de qualquer projecto rodoviário, conforme descrito no Manual de Investigações do *Local da Obra*. Pode incluir:

1. Fontes de informação sobre investigações passadas. Isto pode incluir actividades apenas vagamente relacionadas com a construção da estrada (por exemplo, agricultura, hidrologia, mineração).
2. O ambiente geológico do projecto em conjunto com as características geotécnicas correspondentes às formações geológicas ao longo do alinhamento.
3. Relatórios existentes, mapas, pesquisas de recursos minerais, registos de poços e outros dados relevantes. Isto é particularmente valioso na identificação de materiais de construção de estradas, de particular importância são os planos de construção da secção de estradas em consideração ou de projectos adjacentes, juntamente com quaisquer memórias ou relatórios de projecto (incluindo relatórios de projecto de pavimentos e/ou relatórios de avaliação de pavimentos) e registos de manutenção.
4. Dados de acidentes, se disponíveis. A superfície da estrada afecta o desempenho dos veículos e, às vezes, desempenha um papel importante nos acidentes rodoviários. Pode, portanto, justificar uma intervenção relativamente importante, mas geralmente apenas em uma parte da estrada relativamente localizada.

2.4 Interpretação de Dados Existentes

2.4.1 Identificação da secção preliminar uniforme

Dados de projecto, construção e manutenção, se disponíveis, podem ser usados para estabelecer o tipo e a espessura aproximada da construção do pavimento. Usando esses dados, esses comprimentos de estrada com a mesma espessura nominal e tipo de construção são identificados. Cada extensão da estrada é então tratada como um exercício de avaliação em separado.

2.4.2 Carga de tráfego suportada pelo pavimento

A carga de tráfego em termos de equivalentes de 80 kN equivalente a eixos padrão (ESA) que o pavimento rodoviário suportou desde a sua construção deve ser calculada. Geralmente, as contagens de tráfego históricas estão disponíveis, mas os dados confiáveis de carga por eixo podem não estar disponíveis. Neste caso, os valores médios do SEC para diferentes classes de veículos devem ser utilizados como no Tabela 2-1.

Se nem as contagens de tráfego classificadas nem os dados de carga por eixo estiverem disponíveis, então as pesquisas devem ser realizadas como parte do exercício de avaliação, a fim de estabelecer os valores actuais. As técnicas para a realização de tais pesquisas são descritas no Manual de Investigações do Local da obra e no Manual de Dimensionamento de Pavimentos e mais detalhadamente em um *Guia para a Medição*

de Cargas de Eixo usando uma Báscula Portátil (*Laboratório de Pesquisa de Transporte* (2004).

É importante que, sempre que possível, os dados de carga por eixo devam ser separados por direcção de deslocamento, pois quaisquer diferenças nas cargas por eixo podem ser úteis na identificação das causas da deterioração do pavimento. Diferenças significativas podem ocorrer nas estradas que levam a pedreiras ou grandes portos, onde, por exemplo, as matérias-primas são exportadas ou importadas.

Tabela 2-1 Valores médios do ESA para cada classe de veículos

Classe	Tipo	No de eixos	ESA médio por veículo - completamente carregado	ESA médio por veículo - metade dos veículos carregados (1)
1	Automóvel	2	-	-
2	Tração nas 4 rodas	2	-	-
3	Minibus	2	0,3	0,15
4	Autocarro	2	2,0	1,0
5	Camião ligeiro/PU	2	1,5	0,7
6	Camião médio	2	5	2,5
7	Camião Pesado de 2 eixos	2	10	5
8	Camião de 3 eixos	3	12	3,5
9	Camião de 4 eixos	4	15	7,5
10	Camião de 5 eixos	5	17	8,5
11	Camião de 6 eixos	6	17	8,5
12	Reboque de 2 eixos	2	10	5
13	Reboque de 4 eixos	4	12	6

Nota 1 É comum descobrir que os veículos não têm carga de retorno, portanto, metade dos veículos provavelmente estarão vazios, ou quase vazios.

3 Levantamentos da Condição do Pavimento

3 Levantamentos da Condição do Pavimento

O máximo possível de informações existentes deve ser obtido no estudo documental, conforme indicado no Capítulo 2, mas os dados mais importantes são os dados actualizados obtidos de novas pesquisas. Este capítulo fornece orientação sobre o levantamento visual contínuo, medições de rugosidade e levantamentos detalhados da condição do pavimento.

3.1 Levantamento visual contínuo

Depois de dividir a estrada em comprimentos de construção nominalmente similar, pode ser necessário subdividi-la novamente com base nas condições actuais da estrada. Isto pode ser feito através da realização de um levantamento visual. A melhor maneira de fazer esse levantamento é que o veículo da pesquisa pare em intervalos de 500 metros ou um quilómetro para permitir que as condições do pavimento sejam registadas com precisão. Aspectos importantes da deterioração da estrada podem ser perdidos se o veículo não for parado e a equipa da pesquisa tiver a oportunidade de inspeccionar a estrada de perto. Os dados de condição de superfície também podem estar disponíveis em uma pesquisa de PMS, mas podem não estar suficientemente actualizados.

3.2 Medições de Rugosidade

A rugosidade da estrada deve ser medida neste estágio (Apêndice C), a menos que dados recentes de levantamento de rugosidade estejam disponíveis. Essas medições são necessárias para a avaliação económica e são úteis na definição de secções da estrada em condições similares.

A maioria dos defeitos da estrada contribui de alguma forma para aumentar a rugosidade do pavimento da estrada, embora em seus estágios iniciais afissuração possa causar pouca ou nenhuma mudança. No entanto, sem a manutenção adequada, a superfície rachada se deteriora e os buracos resultantes e as reparações subsequentes causam um rápido aumento da rugosidade. A textura superficial e a variabilidade na profundidade da rodeira também têm um efeito significativo na rugosidade de um pavimento.

A medida padrão de rugosidade da estrada é o Índice de Internacional de Rugosidade (IRI) (Sayers et al, 1986). É uma simulação matemática do automóvel de um quarto do movimento de um veículo a uma velocidade de 80 km/h sobre o perfil medido e pode ser calculada directamente dos níveis da estrada medidos em intervalos frequentes. Dispositivos para medição de níveis geralmente são lentos e trabalhosos, ou rápidos, automáticos e muito caros. Assim, a rugosidade da estrada é geralmente medida usando um Sistema de Medição de Rugosidade do Tipo de Resposta (RTRRMS) que deve ser periodicamente calibrado para permitir que os valores de rugosidade sejam relatados com precisão em termos de IRI. Métodos adequados de calibração incluem um levantamento de haste e nível (ASTM, E 1364-95) ou o MERLIN (Máquina para avaliar a rugosidade usando instrumentação de baixo custo) (Cundill, 1996). Tanto o levantamento de rugosidade quanto os procedimentos de calibração estão descritos no Apêndice C.

A rugosidade das estradas com construção de pavimento semelhante é uma boa medida de sua condição relativa de pavimento, mas não identifica a natureza das roturas ou

suas causas. No entanto, se os recursos para o levantamento de condições de superfície forem limitados ou se as secções da estrada sob investigação forem muito longas, dados de aspereza e levantamento de pára-brisa podem ser usados para estabelecer esses comprimentos de estrada tendo roturas de severidade diferente. Isso permite que comprimentos representativos da estrada sejam seleccionados, que podem ser usados para identificar a causa ou causas de deterioração.

3.3 Levantamento detalhado da condição do pavimento

O próximo passo é realizar um levantamento detalhado da condição do pavimento. Quando as secções uniformes são relativamente curtas, o levantamento detalhado da condição é melhor realizado em toda a extensão da secção. No entanto, onde os recursos são limitados, várias secções representativas de um quilómetro de estrada podem ser usados para identificar a causa do problema no pavimento. O comprimento da estrada investigada por este método deve representar não menos que 10 por cento de cada secção.

Antes que a condição detalhada da superfície seja realizada, a secção ou o comprimento representativo de um quilómetro deve ser permanentemente marcado em "blocos" de igual comprimento. Para estradas interurbanas, o comprimento máximo do bloco deve ser de 50 ou 100 metros, no entanto, o comprimento pode ser reduzido para até 10 metros se a estrada estiver seriamente desgastada.

A fim de simplificar a análise dos dados recolhidos durante os estudos de campo, três princípios importantes devem ser adoptados. Na verdade, sem eles, a análise dos dados para identificar a causa ou causas da rotura pode ser muito difícil.

3.3.1 Variabilidade

Um pavimento de estrada é uma estrutura muito variável. Embora os materiais de que é feito sejam obrigados a atender certas especificações, o intervalo de valores de suas propriedades dentro dessas especificações é ampla. O maior elemento de variabilidade é geralmente a resistência do leito que varia ao longo da estrada e de mês para mês. Um bom dimensionamento do pavimento lida com essas variabilidades e os pavimentos são projectados com diferentes níveis de confiabilidade. Confiabilidade é essencialmente a probabilidade de uma estrada atingir sua vida útil em termos de tráfego sem atingir uma condição de rotura definida. Para as estradas principais, isso pode ser de 95%, 98% ou até mais. Na prática, isso significa que, do ponto de vista estatístico, uma pequena percentagem do comprimento total da estrada provavelmente atingirá a condição de rotura antes do final da vida útil do projecto.

Assim, a condição de rotura que define a vida do pavimento é, em si, uma quantidade relativamente pequena de roturas em termos de área da estrada. Considere, por exemplo, roturas de cisalhamento profundo na base da estrada. Os rodeiras profundos resultantes são desagradáveis e perigosos e aumentam consideravelmente a aspereza da estrada; mas requerem apenas duas ou três dessas áreas, cada uma se estendendo por, digamos, 3 metros em cada 100 m de estrada, para a estrada estar em condições muito más (muito além de uma condição de rotura normal). No entanto, esse nível de deterioração pode representar apenas cerca de 2% da área da estrada e menos de 10% do comprimento da estrada. Assim, a avaliação do pavimento trata da identificação do

comportamento da pouca percentagem da estrada. Os valores médios dos parâmetros são de pouca utilidade: são necessários 5 ou 10 percentis.

3.3.2 Correlacionar medições

Associado à variabilidade da estrada está a necessidade de fazer medições pontuais específicas, como profundidades de rota, deflexões, DCPs (e ensaios de poço) exactamente no mesmo local. Em outras palavras, no ponto de ensaio em cada encadeamento, os valores da profundidade da rodeira, deflexão, DCP e ensaios de poço (embora haja relativamente poucos destes) são feitos a poucos centímetros um do outro. Isso ocorre porque a informação combinada em cada ponto é muitas vezes mais valiosa do que seria se os dados de cada característica fossem de locais diferentes com propriedades ligeiramente diferentes. A profundidade da rotina é um bom exemplo ilustrativo. Uma rodeirarodeira é geralmente muito variável em profundidade e a parte mais profunda só pode se estender por um metro ou mais em poucas cadeias ao longo de uma secção. No entanto, essa rodeirarodeira profunda é sintomática da deterioração que pode ocorrer em outros lugares ao longo da estrada, mas esta mostra-se inicialmente na parte mais fraca e mais vulnerável. Os valores de deflexão e DCP nesse ponto, comparados com os valores em outros pontos onde a profundidade rodeirada rodeira é baixa, fornecem pistas valiosas sobre a causa rodeirada rodeira e o provável comportamento da estrada no futuro.

3.3.3 Onde testar

Quando uma estrada apresenta roturas, talvez seja muito natural querer concentrar as investigações nas áreas que romperam. No entanto, esta nem sempre é a melhor opção, especialmente se houver roturas estruturais. Isso ocorre porque essas áreas exibirão fissuras, buracos, e assim por diante. A água já terá entrado na estrutura através das roturas e, portanto, as propriedades dos materiais do pavimento terão mudado consideravelmente, portanto, será impossível identificar a causa primária dos problemas. As áreas que serão mais informativas serão aquelas que começarem a mostrar sinais de fracasso, porque provavelmente exibirão apenas uma forma no estágio inicial. Este será principal motivo da rotura.

3.4 Medições de Deterioração

Durante o levantamento detalhado da condição da superfície, a natureza, extensão, severidade e posição dos seguintes defeitos são registados.

1. Fissuração (Secção 3.5).
2. Buracos e reparação (Secção 3.6)
3. Rotura dos bordos e bermas (Secção 3.7).
4. Profundidade da rodeira (Secção 3.8.1).
5. Deformação excluindo rodeiras (Secção 3.8.2).
6. Defeitos de superfície; por exemplo. exsudação, corrugação, desgaste (Secção 3.9).
7. Textura da superfície e polimento de agregados (Secção 3.9.6).

A rodeira é medida em locais específicos. É registada uma vez no início de cada um dos blocos. É importante que a rodeira seja medida num ponto conhecido, porque a sua

gravidade pode precisar de ser comparada com outros ensaios não destrutivos realizados no mesmo local. A Tabela 3-1 lista os dados a serem recolhidos.

Tabela 3-1 Dados e defeitos superficiais comuns a serem registados

Número da Estrada	O número da estrada aceite
Número do Formulário	Números para executar consecutivamente
Data	Dia/ mês/ ano
Inspector	Nome do inspector
Local de Início	Se um marcador estabelecido estiver disponível, este deve ser usado. Se não, marcadores permanentes como cruzamentos devem ser usados.
Direcção	A direcção para uma característica permanente, de preferência uma cidade grande.
Largura da Estrada	A largura da estrada deve ser registada no início de cada formulário.
Revestimento	Tipo (revestimento betuminoso / betão betuminoso)
Berma	Tipo (material granular / selado) e largura
Localização	Localização 0 + 000 está no ponto inicial. Se os blocos de 50m forem usados, as seguintes localizações serão 0 + 050, 0 + 100 etc
Tipo de fissura	Letras L, T, B, C ou P (Secção 3.5.1)
Intensidade da fissura	Nos. 0-5 (Secção 3.5.2)
Posição da fissura	Letras V, O ou CW (Secção 3.5.3)
Largura da fissura	Nos. 1-4 (Secção 3.5.4)
Extensão da fissura	Nos. 1-3 (Secção 3.5.5)
Buracos e remendos	Conforme definido na Secção 3.6.
Roturas de bordo	F ou S (Secção 3.7).
Profundidade da rodeira	Secção 3.6.1. Valor máximo registado no lado do bordo ou na trajectória das rodas do lado exterior. Se a escavação estiver a ocorrer, o valor deve ser circulado.
Depressões	Conforme definido na Secção 3.8.2. Extensão conforme Tabela 3.3

Nota: Extensão dos defeitos = 1 (se o comprimento do bloco for afectado é <10%);
= 2 (se entre 10-50%) e 3 (se> 50%)

A forma recomendada para registar os dados da condição da superfície é ilustradana Figura 3-1. Uma cópia pronta para uso do formulário está incluída no Apêndice H. O formulário é projectado para ser o mais flexível possível, já que a natureza da deterioração da estrada asfaltada varia de acordo com factores como o tipo de construção, clima e níveis de tráfego.

Existem três linhas em branco no formulário da condição da superfície para cada encadeamento. Estes devem ser usados se outros defeitos não incluídos no formulário precisarem ser registados.

Os recursos e o equipamento necessários para o levantamento detalhado da condição e os detalhes operacionais são descritos nos apêndices.

Levantamento da condição das estradas pavimentadas			**Data**		**Inspector**		**Distrito**		
Estrada Nº	**Início Km**		**Direcção: De**			**Para**		**Fim da Km**	
Bloco Nº			**ESQUERDA**		**DIREITO**		**Comentários/Acções**		
			Gravidade	**Extensão**	**Gravidade**	**Extensão**			
Dreno lateral		Silte							
		Erosão							
Berma		Deformar							
		Erosão							
		Vegatação							
Cascata									
Bordo danificado									
Profundidade da rodeira									
Fissuração		Tipo							
		Intensidade							
		Posição							
		Extensão							
		Largura							
Buracos/Remendos									
Exsudação									
Desgaste									
Corrugações									
Textura da superfície									
Polimento do agregado									

Nota: Extensão dos defeitos =1 (se o comprimento do bloco for afectado é <10%);

= 2 (se for entre 10-50%) e 3 (se >50%)

Figura 3-1: Excerto do Formulário de estudo de campo para Avaliação de Pavimentos

O formulário deve ser reprojectado para uso imediato pelos inspectores.

3.5 Fissuras

A avaliação de fissuras deve cumprir dois objectivos. Em primeiro lugar, deve identificar se o pavimento da estrada está a sofrer de carga ou desgaste sem carga associada. Em segundo lugar, deve-se estabelecer se a severidade ada fissuração afectará o desempenho de qualquer nova camada de pavimento subsequente, causando fissuras reflectoras. Estes objectivos são melhor alcançados através da identificação de cinco características de fissuração.

1. Tipo
2. Intensidade
3. Posição
4. Largura
5. Extensão

3.5.1 Tipo

A aparência de uma fissura pode fornecer um guia para a sua causa provável. Recomenda-se que cinco tipos de fissuras sejam definidos. Estes são listados abaixo e ilustrados na Figura 3-2.

1. L Fissura longitudinal
2. T Fissura Transversal
3. B Fissura Tipo Bloco
4. C Fissura do Tipo "Pele de crocodilo"
5. P Fissura Parábolica

3.5.2 Intensidade

A intensidade da fissuração é definida por seis níveis descritos abaixo. Se a intensidade da fissuração varia dentro de qualquer bloco, a forma predominante deve ser registada.

0 sem fissuras

1 única fissura

2 mais de uma fissura - não ligada

3 mais de uma fissura - interligada

4 fissura do tipo "pele de crocodilo"

5 fissura do tipo "pele de crocodilo" severa com blocos que balançam sob acção do tráfego

3.5.3 Posição

A posição da fissuração é registada. As fissuras podem ser confinadas a uma ou ambas trajectórias das rodas do lado da orla (V) e da folga (O), ou podem ser espalhadas por toda a faixa de rodagem (C/W).

3.5.4 Largura

A largura de uma fissura tende a variar ao longo da fissura. A maior largura deve ser registada. É importante porque a largura determina parcialmente se uma fissuras pode ser vedada de forma eficaz. Quatro categorias são recomendadas conforme ilustrado abaixo. Os três primeiros são para fissuras que não são quebradas; fissuras com quebras substanciais são classificadas como largura 4. As larguras das fissuras geralmente variam dentro de qualquer bloco, e assim é a largura das fissuras que predomina que é registada. Inicialmente, até que os técnicos estejam familiarizados com o sistema, as larguras das fissuras podem ser medidas com um simples medidor de largura de rachadura Go/No-go, mostrado na Figura 3-3.

1 largura da fissura < 1mm

2 1mm < largura da fissura < 3mm

3 largura da fissura > 3mm

4 fissura com fragmentação

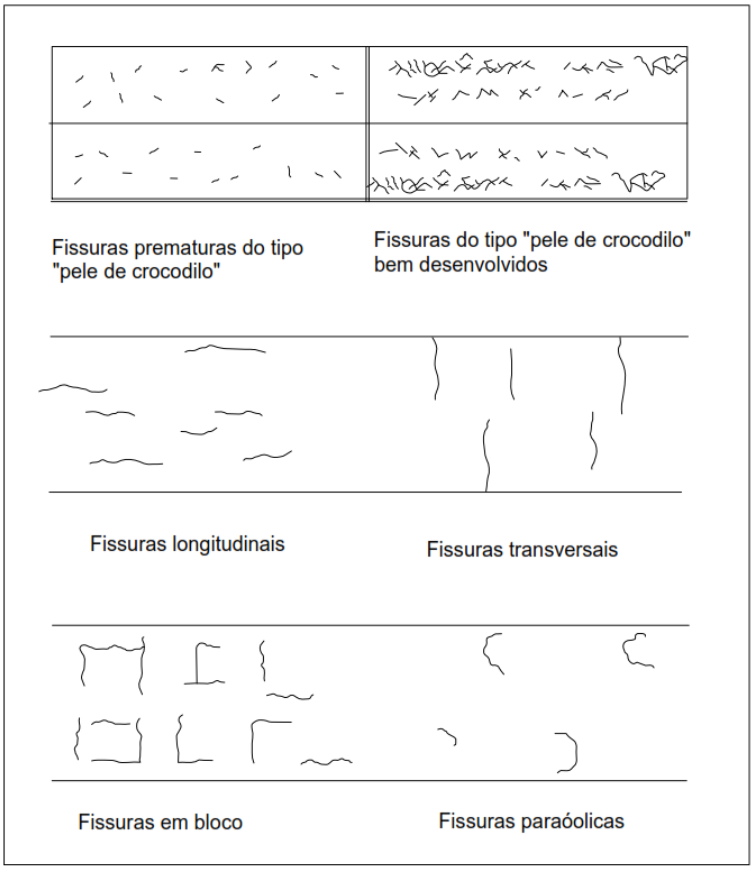


Figura 3-2: Tipos de Fissuras

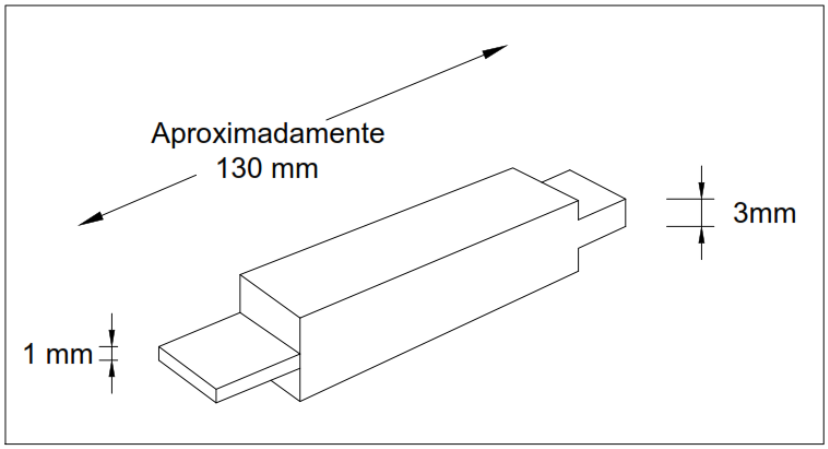


Figura 3-3: Medidor de Largura da Fissura

3.5.5 Extensão

A extensão da fissuração é definida como o comprimento do bloco afectado, e isso deve ser registado, independentemente da intensidade.

3.6 Buracos e Remendos

Os buracos são falhas estruturais que incluem tanto a superfície como outras camadas do pavimento. Eles geralmente são causados pela água que penetra na superfície rachada causando enfraquecimento da base da estrada. O tráfego adicional faz com que o revestimento se quebre e um buraco se desenvolva. Devido ao perigo óbvio para o usuário da estrada, os buracos geralmente são corrigidos como prioridade. Embora os remendos não sejam necessariamente defeitos, eles indicam a condição anterior da estrada e são incluídos na avaliação. A extensão dos buracos e remendos é registada conforme mostrado na Figura 3-4.

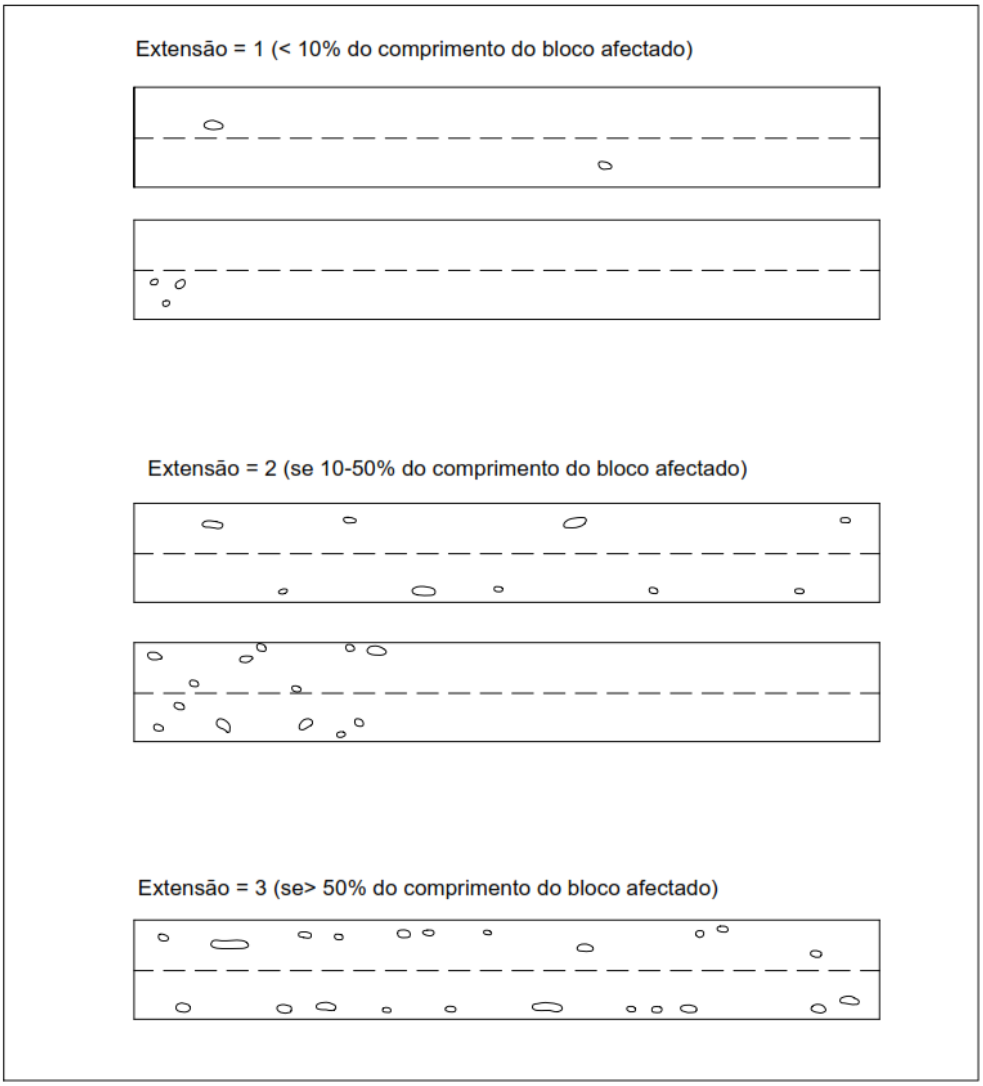


Figura 3-4: Extensão de Buracos e Remendos

3.7 Roturas nos Bordos e Condição das Bermas

As roturas de bordo são causadas pela manutenção deficiente da berma, que deixa a superfície do pavimento da estrada mais alta do que a berma adjacente. Esse bordo não suportado pode ser danificado pelo tráfego, estreitando a superfície da faixa de rodagem. As roturas de borda (F) são registadas quando elas excedem 150 mm de largura em seu ponto máximo ou quando o degrau vertical da superfície da berma é maior que 50 mm (S). É conveniente medir os defeitos com a escala ao lado da cunha calibrada. O comprimento da estrada afectada é registado de acordo com a Figura 3-1.

A condição das bermas também é registada. Embora não necessariamente contribuindo para a rotura estrutural nesta fase, a reparação de defeitos na berma será uma parte importante da reabilitação e, portanto, a extensão dos reparos necessários precisa de ser medida.

3.8 Deformação do Pavimento

Em termos de sua avaliação, a deformação do pavimento é dividida em dois grupos. Em primeiro lugar, os defeitos com comprimentos de onda curtos, onde a gravidade pode ser medida pelo uso de uma cunha simples de 2 metros com o bordo recto e calibrado (Figura 3-6). Em segundo lugar, aqueles defeitos com comprimentos de onda mais longos, que são melhor quantificados pelo uso de instrumentos de perfis de estradas mais sofisticados. Isso é discutido no Apêndice C sobre medições de rugosidade.

3.8.1 Rodeiras

Deformações associadas a carga ou rodeiras aparecem como depressões longitudinais na trajectória das rodas. É o resultado de uma acumulação de deformações verticais não recuperáveis nas camadas do pavimento e no leito causado por cargas de tráfego. Em seus estágios iniciais, esse tipo de rodeira não está associado à rotura por corte (ou escavação) nas camadas superiores do pavimento até que este se torne severo.

Por vezes, não existem trajectórias de rodas distintas, por exemplo, devido a um grande volume de tráfego não motorizado que causa o tráfego motorizado. Nestas circunstâncias, o padrão de deterioração da estrada será diferente e algumas das pistas importantes relacionadas com a posição da deterioração na faixa de rodagem estarão ausentes.

As rodeiras também podem ser o resultado de rotura por corte nas camadas de pavimento não ligado ou betuminoso, resultando em escavação no bordo do pavimento da estrada. Onde a rotura por corte ocorre na base ou sub-base não ligada, o material deslocado aparecerá no bordo da superfície. Onde a rotura ocorre no material betuminoso, o material deslocado será evidente no próprio revestimento. Isso é ilustrado na Figura 3-5. A gravidade da escavação é difícil de medir sem levar os níveis. No entanto, sua ocorrência, juntamente com a profundidade da rodeira, deve ser registada, identificando claramente a causa da rotura. Isso pode ser feito simplesmente colocando um círculo em torno do valor da rodeira registado no formulário de condição da superfície.

A largura da superfície de rodagem e o fluxo de tráfego controlam o número da via observáveis em estradas revestidas. Por exemplo, uma faixa de rodagem de 3 metros terá duas trajectórias das rodas, mas em larguras de estrada superiores a 6,5 metros, geralmente há quatro. Em larguras intermediárias e fluxos de tráfego baixo, pode haver três trajectórias das rodas, com o central sendo compartilhado pelo tráfego em ambas

as direcções. Profundidades de rodeiras devem ser registadas nas vias, mostrando o mais intenso. Na maioria das estradas, este é geralmente a via lateral do bordo porque aqui o pavimento da estrada é geralmente mais fraco como resultado do maior teor de humidade e menor apoio lateral. O bordo recto é colocado ao longo da trajectória das rodas em ângulos rectos para a direcção do tráfego e a profundidade máxima da rota registada. Se as rodeiras tiverem mais de 40 mm de profundidade, a cunha pode ser mantida verticalmente e a profundidade registada nos 10 mm mais próximos.

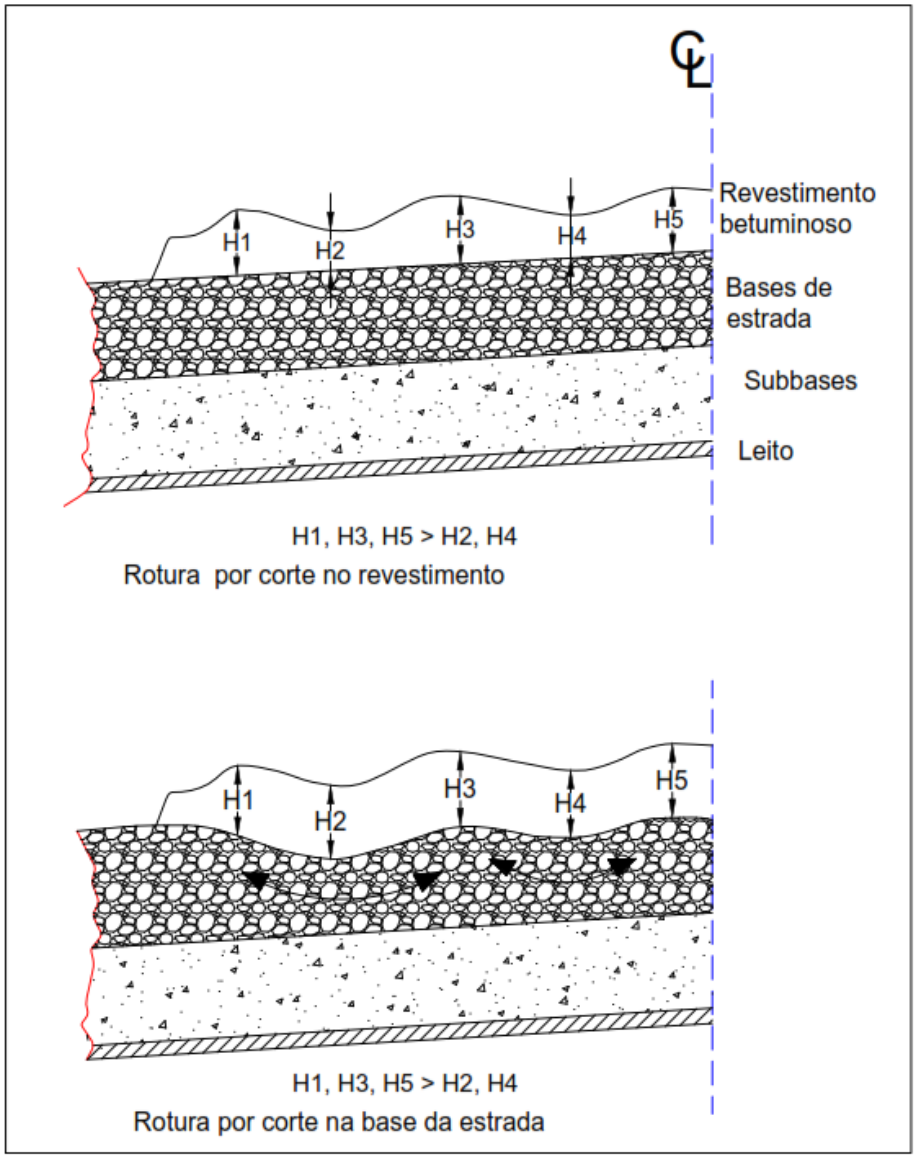


Figura 3-5: Perfil do Carote Transversal para Investigar a Rodeira

3.8.2 Depressões

Devem ser registadas as depressões localizadas causadas pelo assentamento das camadas do pavimento, roturas de construção e movimento diferencial nas estruturas, particularmente galerias. Estes são fáceis de ver após períodos de chuva porque demoram mais tempo a secar do que o resto da estrada. Quando a estrada está seca,

às vezes podem ser identificados pelas manchas de óleo que ocorrem onde os veículos atravessam a depressão. A profundidade deve ser medida usando o bordo recto de 2 metros e a cunha calibrada na Figura 3-6.

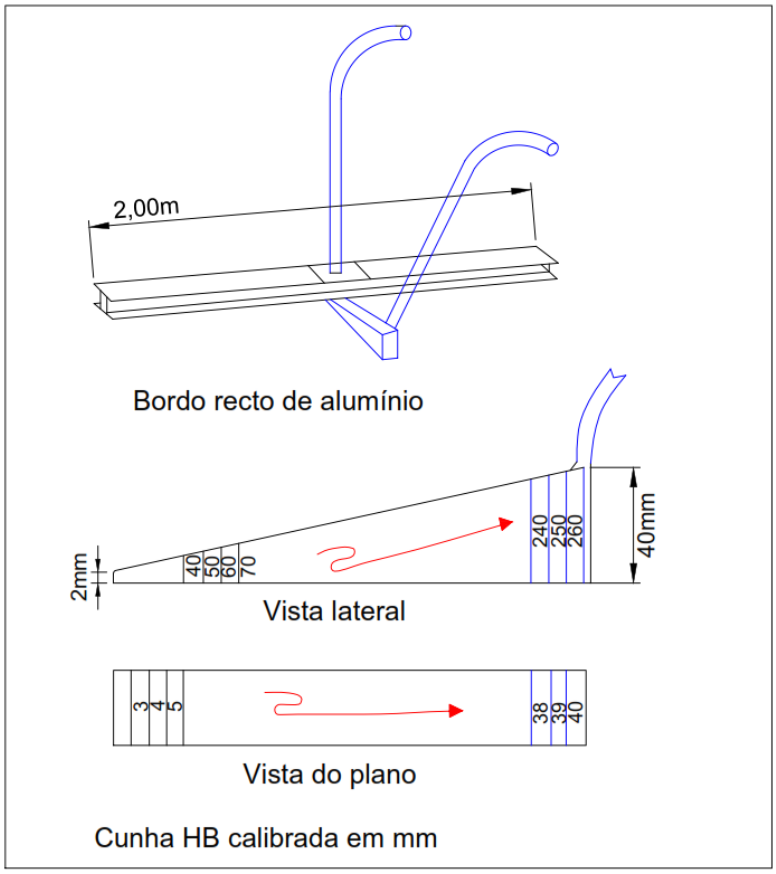


Figura 3-6: Bordo recto e cunha calibrada

3.9 Defeitos do pavimento

Há uma série de defeitos do pavimento que não são sintomas de roturas estruturais e, portanto, não requerem levantamentos estruturais, embora indiquem problemas com os materiais de revestimento.

3.9.1 Exsudação e "Inchaço"

A exsudação é geralmente observado primeiro nas vias e é o resultado do betume a ser forçado para a superfície da estrada pela acção do tráfego. O inchaço da superfície é uma forma menos extrema de exsudação, em que a superfície fica muito lisa, mas não há aglutinante suficiente para formar uma película contínua na superfície. As seguintes definições são recomendadas:

- Exsudação: Uma película contínua de ligante que cobre o agregado
- "Inchaço": Aparência lisa e brilhante mas agregado visível.

A exsudação e "Inchaço" podem, muitas vezes, ser descontínuos. Nos revestimentos betuminosos isto pode ser o resultado de variações no processo de mistura, sobre a aplicação local do revestimento de adesão ou compactação secundária pelo tráfego. Nos tratamentos superficiais, pode ser causada pela variabilidade na superfície preparada

ou pelo controlo de qualidade deficiente durante a operação de pulverização e de quebras.

3.9.2 Desgaste e Descasque

o Desgaste é a perda progressiva de agregados finos da superfície da estrada e ocorre quando os pequenos movimentos de partículas individuais, sob a acção do tráfego, excedem a tensão de ruptura do betume. Tende a ocorrer mais tarde na vida da superfície após o próprio betume ter-se deteriorado com a idade e geralmente começar em áreas de alto volume de tráfego, como curvas acentuadas. A perda de agregado fino na superfície resulta na falta de interligação mecânica que pode eventualmente levar à perda de agregado grosso e à formação de buracos.

o Descasque em revestimentos betuminosos é o resultado do deslocamento do ligante da superfície do agregado causado pela acção combinada da água e do tráfego. Na maioria dos casos, há uma migração do ligante para a superfície da estrada, resultando em exsudação localizado na superfície e instável agregado mal revestido em baixo. Essas áreas então se desintegram sob o tráfego e se desenvolvem em buracos rasos. A introdução de misturas asfálticas mais densas e o uso de cimento e cal hidratada como material de enchimento reduziram amplamente a ocorrência de decapagem em revestimentos de asfalto.

Embora os mecanismos de rotura sejam diferentes, o resultado de ambos os tipos de deterioração será um buraco raso ou uma série de buracos. A extensão do defeito é registada conforme mostrado na Figura 3-1.

3.9.3 Perda de agregado do revestimento superficial

A perda de agregado de um revestimento superficial resultante da fraca adesão entre o ligante e o agregado aparece no início da vida do revestimento. Ele começa na trajectória das rodas, mas, com o tempo, o problema pode se espalhar pela faixa de rodagem, dificultando a diferenciação entre esse tipo de rotura e a exsudação. No entanto, muitas vezes pode ser identificado por uma acumulação de agregadono bordo do pavimento da estrada. A extensão do defeito é registada de acordo com a Figura 3 2. A seguinte definição é recomendada:

Perda de pedra: filme contínuo de betume visível devido à perda de agregado.

3.9.4 Corrugações

Corrugações consistem tipicamente de uma série de rodeiras perpendiculares à linha central da estrada e geralmente se estendem por toda a largura da faixa de rodagem. Seu espaçamento, ou comprimento de onda, geralmente está na faixa de 0,5-1,0 metros, mas pode, em algumas circunstâncias, chegar a 10 metros. Em estradas revestidas, elas são causadas pela instabilidade tanto na superfície do asfalto quanto na base de terra livre sob uma selagem fina. Geralmente, não há necessidade de medir a gravidade das ondulações porque isso não afectará a selecção do tratamento correctivo. A extensão do defeito é registada conforme mostrado na Figura 3-1.

3.9.5 Resistência à derrapagem e polimento de agregado

A capacidade de uma superfície betuminosa para fornecer a resistência à derrapagem requerida é governada pela sua macrotextura e microtextura. A macrotextura do revestimento, medida pela sua profundidade de textura, contribui particularmente para

a resistência à derrapagem em altas velocidades, proporcionando rotas de drenagem para a água entre o pneu e a superfície da estrada. O levantamento das condições de superfície deve incluir uma avaliação qualitativa da textura nas vias, de modo que possa ser usada para disparar ensaios quantitativos, se necessário (Anexo E). Como um guia, as categorias ilustradas na Tabela 3-2 são sugeridas.

Tabela 3-2 Avaliação visual da textura da superfície

Textura	Descrição
Finos (F)	A superfície é lisa e o agregado grosso (se presente) na superfície não é visível, ex. uma selagem de areia, lama de selagem ou asfalto liso.
Médio (M)	A estrada tem uma aparência lisa e geralmente compreende agregado fino. Se presente, qualquer agregado grosso é visível mas a superfície não parece grossa devido ao agregado fino entre as partículas grossas, p.e. um novo revestimento de superfície simples de 6mm ou curativo de superfície dupla de 13/6mm.
Grosso (C)	O revestimento tem uma aparência grosseira, com agregado grosso claramente visível, por ex. um novo curativo superficial de 13 mm.

3.9.6 Polimento de Agregado

A micro-textura do revestimento, medida pela resistência ao polimento do agregado, é o factor dominante na resistência à derrapagem a baixas velocidades. A avaliação do polimento é mais difícil do que a da textura da superfície, mas será desnecessária se os agregados de superfície com um Valor de Pedra Polida mínimo satisfatório forem usados durante a construção. Quando agregados marginais de qualidade forem utilizados ou se o aumento dos fluxos de tráfego resultar em um maior estado de polimento, a resistência à derrapagem será reduzida (Apêndice E). A avaliação qualitativa dependerá do julgamento do técnico, e a Tabela 3-3 é sugerida como um guia preliminar.

Tabela 3-3 Avaliação visual do polimento de agregado

Condição	SRV[1]	Descrição
Áspero (H)	>75	Pedras muito ásperas[2], bordas afiadas ao toque
	55 - 75	
Angular (A)	45 - 55	Pedras afiadas e angulares, mas não duras
	35 - 45	
Suave (S)	< 35	Pedras arredondadas e suaves ao toque

Notas
1. Valor de resistência ao deslizamento (SRV) medido pelo dispositivo portátil de resistência a derrapagem
2. Pedras duras têm superfícies que são ásperas ao toque.

3.10 Deterioração Causada pela fraca drenagem

Roturas localizadas no pavimento são frequentemente causadas pelo projecto ou manutenção deficiente de drenos laterais e de corte e estruturas de drenagem cruzada. Quando drenos laterais e sarjetas se abrem, as lagoas de água encostam no aterro da estrada, enfraquecendo as camadas inferiores do pavimento. Por outro lado, se a velocidade da água no dreno lateral for muito alta, ela corroerá o aterro e os bermas da estrada. Roturas mais gerais ocorrem quando não há drenagem dentro das próprias camadas do pavimento. As estradas revestidas não permanecem à prova d'água durante toda a vida e, se a água não conseguir drenar rapidamente, ela enfraquece as camadas inferiores do pavimento e resulta em uma rápida rotura na estrada. No entanto, a deterioração do pavimento como resultado da má drenagem pode não ser óbvia na estação seca, portanto, discussões com a população local podem ser necessárias para estabelecer a situação na estação húmida.

A erosão e o assoreamento são as principais formas de deterioração dos drenos laterais e drenagem de canto, e a extensão e a severidade devem ser registadas confirme mostrado na Figura 3-1. A eficácia de qualquer verificação de limpeza também deve ser registada.

Os aquedutos podem estar bloqueados, parcialmente bloqueados ou desimpedidos. Se bloqueados, quase invariavelmente estarão contribuindo para a deterioração do pavimento. Eles também podem causar erosão devido a entradas ou saídas inadequadas ou danificadas, e eles próprios podem ser danificados. Todos esses dados devem ser registados porque serão necessários para estimar os custos de reparação.

4 Avaliação e Análise da Condição do Pavimento da Estrada

4 Avaliação e Análise da Condição do Pavimento da Estrada

Este capítulo cobre a avaliação; processamento e análise dos dados obtidos a partir dos levantamentos de campo. O processo envolve as seguintes etapas:

1. Intrudução de dados, intercalação e limpeza
2. Análise:
    a. Cálculos para determinar os índices de condição.
    b. Apresentação dos resultados da análise que inclui gráficos de desempenho.
3. Decisão:
    a. Determinar se os defeitos estão localizados (pequenos o suficiente para serem tratados por remendos) ou se são extensos.
    b. Determinar o tratamento correctivo, incluindo intervenções de manutenção para roturas localizadas.
    c. Determinar se são necessárias investigações adicionais no caso de roturas extensas, incluindo problemas estruturais.

4.1 Introdução de Dados, Intercalação e Limpeza

Os dados recolhidos no campo devem ser inseridos em planilhas do Excel no formato que facilita o processo. O agrupamento envolve classificar os dados em agrupamentos relevantes que estão associados aos resultados pretendidos da análise. Por exemplo, os dados para fissuração incluindo o tipo de fissura, extensão da área fissurada dentro da secção e a severidade, ou seja, a largura da fissura devem ser reunidos para facilitar a revisão e cálculo dos índices de fissuração, necessários para a determinação de secções e decisões uniformes sobre remediação.

Os dados que são recolhidos no local podem incluir naturalmente algumas medições erróneas e erros cometidos durante a introdução de dados. Esses dados errados devem ser excluídos do conjunto de dados. Esse processo requer alguma habilidade, de modo que as medidas correctamente tomadas e inseridas não sejam classificadas como dados errados.

4.2 Análise para Determinar o Índice de Condição

A análise dos dados envolve o cálculo de índices de condição em que os parâmetros que definem cada defeito (por exemplo, tipo, extensão e severidade da fissura) requerem métodos diferentes.

Não é possível chegar ao nível total de defeitos de uma secção da estrada simplesmente somando as medidas de vários defeitos, tais como fissuras, buracos, rugosidade, rodeiras, etc. Para avaliar a deterioração da estrada, os defeitos devem primeiro ser convertido em alguma escala comum, ou seja, um índice de condição de pavimento (PCI). Várias autoridades rodoviárias desenvolveram um índice e a maioria dos sistemas de gestão de pavimentos usa um, mas eles diferem uns dos outros. Isso ocorre porque um índice de condição é um indicador muito bruto de condição. A gravidade e a extensão de cada tipo de deterioração fornecem informações essenciais para a tarefa de diagnóstico de identificar a causa ou causas de deterioração e essa informação

detalhada é perdida quando os defeitos são combinados em um único índice. No entanto, um índice é útil por motivos estratégicos e de planificação.

Este índice de condição recomendado é calculado a partir dos resultados de um levantamento de condição superficial e é uma classificação numérica da condição do pavimento variando de 0 a 100, com 0 sendo a pior condição possível e 100 sendo a melhor conforme ilustrado na Figura 4-1.

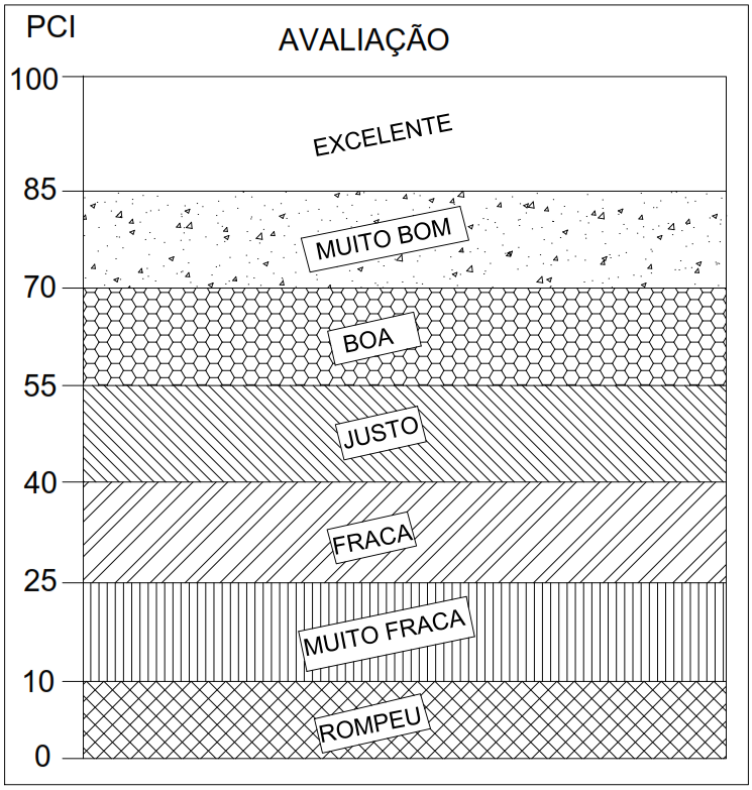


Figura 4-1 Índice de Condição do Pavimento

Usando a condição de superfície medida, todos os defeitos significativos podem ser convertidos para determinar o índice de condição usando a equação de regressão (exemplo).

> 100 - (1,954 * IRI * 1,75) - (14,482 * Grande área de fissuras em%) - (7,371 * Pequena área de fissuras em%) - (0,583 * Área de Desgaste em%) - (18,291 * Área de buraco em%) - (18,291 * área de depressão em%)

A análise também envolve a plotagem de gráficos de "desempenho" para cada um dos defeitos individuais e o índice de condição. Isso dá uma indicação clara das secções críticas e uniformes que eventualmente ajudarão no desenvolvimento de decisões sobre se mais ensaios são necessários para o projecto de reabilitação ou se as intervenções básicas de manutenção serão suficientes.

4.3 Gráficos de Desempenho

É muito útil durante o processo de diagnóstico usar uma variedade de conjuntos de dados diferentes e comparar os resultados. Isso pode fornecer pistas valiosas sobre os

modos de deterioração e também sobre a reabilitação necessária. Por exemplo, a fissuração, a rodeira e a rugosidade registados durante o levantamento detalhado da condição devem sempre ser exibidos na forma de gráficos de desempenho.

O gráfico de desempenho é uma representação gráfica de um aspecto da condição do pavimento traçado contra o encadeamento. É uma ajuda inestimável para identificar a causa ou causas da deterioração e a escala dos problemas. Para o projecto de reabilitação, geralmente é necessário dividir o pavimento em secções homogéneas, cada uma das quais provavelmente requer o mesmo tratamento. Essas secções são geralmente de construção, resistência, condição, rugosidade e assim por diante. Estes permitem quantificar o comprimento da estrada afectada por cada forma de deterioração e, mais importante, identificar quais características estão associadas umas às outras.

No entanto, é necessário cuidado na interpretação desses dados. Para além dos defeitos superficiais descritos no Capítulo 3, as estradas de superfície betuminosas deterioram-se geralmente tanto na rodeira como nas fissuras. É importante que a forma inicial de deterioração e sua causa sejam identificadas porque isso determina o tipo de manutenção e reparo mais apropriado.

Após um novo tráfego, a causa inicial da deterioração pode ser ocultado pela deterioração subsequente. Uma ilustração disso é ilustrada na Figura 5-1, onde a aparência final da deterioração da estrada é semelhante, apesar de ter causas iniciais diferentes.

Também é importante estabelecer se as roturas estão localizadas, talvez por causa da má drenagem, ou se elas afectam a estrada de uma maneira mais geral.

Quando ocorre uma avaliação, muitas vezes há consideráveis comprimentos de estrada que atingiram um nível terminal de deterioração semelhante ao mostrado na Figura 4-2. Entretanto, mesmo dentro de secções nominalmente uniformes, os pavimentos de estradas são inerentemente variáveis, possuindo uma variedade de espessuras de pavimento. e propriedades do material. Isso resulta em desempenho diferencial, com algumas áreas se deteriorando com menos rapidez do que outras. É nessas áreas que a forma inicial de deterioração pode ser mais facilmente identificada.

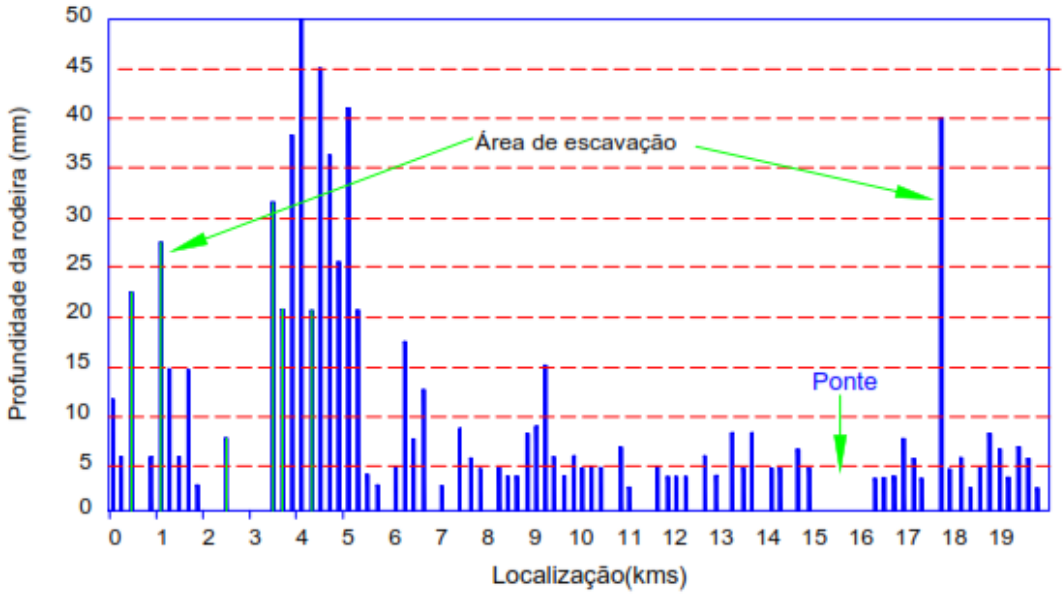
Particularmente importantes são gráficos de desempenho que mostram as características estruturais da estrada, ou seja, os valores de deflexão e os valores de resistência do DCP.

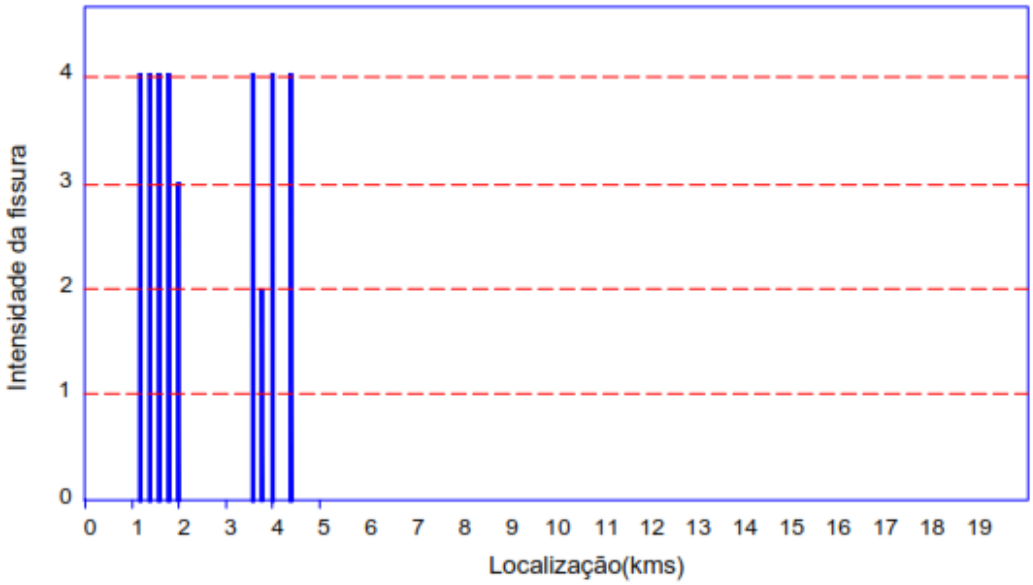
Um exemplo do uso de gráficos de desempenho é ilustrado na Figura 4-2 para uma secção de 20 km de estrada pavimentada com uma base de material granular estabilizada mecanicamente com uma fina superfície betuminosa. A forma inicial de deterioração era a rodeira que estava associada a escavação sempre que a rotura se tornava grave. Embora existam algumas fissuras coincidentes com altos valores de rodeira, não há fissuras em áreas de rodeiras menos severos, sugerindo que a rodeira precedeu a fissura. Além da rodeira, comprimentos substanciais do revestimento sofrem de exsudação. No entanto, os gráficos mostram que não há correlação entre a exsudação e a rodeira, indicando que o empurrão está em uma camada granular mais baixa, e não na superfície betuminosa.

Usando gráficos de desempenho semelhantes a este, a secção de estrada sob investigação é dividida em subsecções com roturas de tipo e/ou gravidade diferentes.

Um programa de ensaios adicionais (ver Capítulo 5) é então preparado para identificar as causas do desempenho diferencial entre as subsecções.

Pode haver alguns casos em que a secção completa da estrada tenha atingido uma condição de rotura, por exemplo, quando o pavimento da estrada tiver sido sub-projectado ou houver sérios problemas materiais ou falta de manutenção ou condições climáticas extremas. Nesses casos, a causa da deterioração pode ser estabelecida comparando-se a espessura do pavimento da estrada ou as propriedades do material das camadas do pavimento com os padrões relevantes de projecto e as especificações do material.





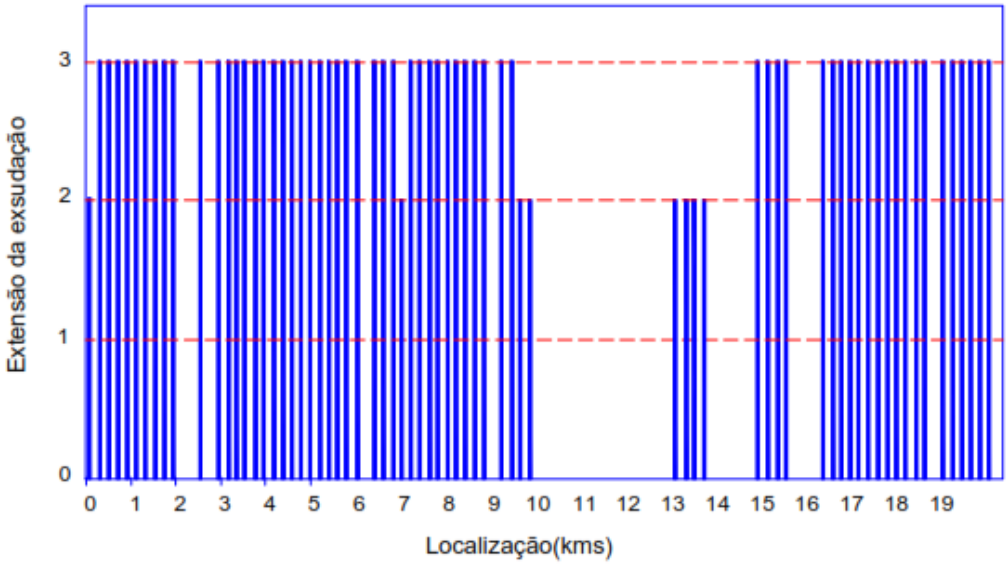


Figura 4-2 Exemplo de Gráficos de Desempenho

4.4 Tratamento de Defeitos Localizados no Pavimento

Existem alguns defeitos de pavimento que, se localizados, podem ser tratados neste estágio sem a necessidade de ensaios adicionais. Os tratamentos sugeridos para esses tipos de ddeformação no pavimento estão resumidos na Tabela 4-1 e na Tabela 4-2.

No entanto, se os defeitos forem graves, as causas da rotura serão estabelecidas por meio da realização de ensaios adicionais, conforme descrito no Capítulo 5.

Tabela 4-1 Defeitos de Revestimento - Estradas com ligantes betuminosos finos

Defeitos	Extensão	Tratamento de Manutenção	Notas
Desgaste	<10%	Remendo Local	Uma aspersão de névoa pode ser suficiente para rejuvenescer a superfície e evitar mais desgaste.
	>10%	Tratamento superficial ou selagem com lama asfáltica	
Perda de pedra, exsudação e "Inchaço"	<10%	Nenhuma intervenção	A aplicação local do agregado aquecido pode ser necessária se a resistência à derrapagem for um problema.
	>10%	Ensaios adicionais necessários	Um novo pavimento pode ser necessário
Perda de textura e/ou polimento do agregado	<10%	Nenhuma intervenção	
	>10%	Ensaios adicionais necessários	Um novo pavimento pode ser necessário
buracos	Qualquer	Reparações	Os buracos são o resultado de outras roturas, como fissuras e deformações, e geralmente são necessários ensaios adicionais
Roturas de bordo	Qualquer	Reparar a estrada e reconstruir a berma	

Tabela 4-2 Defeitos de Revestimento - Estradas com Superfícies AC

Defeitos	Extensão	Tratamento de Manutanção	Notas
Desgaste ou descasque	<10%	Reparações locais	A aplicação de um rejuvenescedor proprietário pode evitar mais desgaste.
	>10%	Remendo seguido de tratamento superficial ou selagem com lama asfáltica	
Exsudação ou "Inchaço"	<10%	Nenhuma intervenção	A aplicação local de agregado fino aquecido pode ser necessária se a resistência à derrapagem for um problema.
	>10%	Additional tests required	pode ser necessário um novo prevestimento
Perda de textura e/ou polimento do agregado	<10%	Nenhuma intervenção	
	>10%	Ensaios adicionais necessários	pode ser necessário um novo prevestimento
Buracos	Qualquer	Reparações	Os buracos são o resultado de outras roturas, como fissuras e deformações, e geralmente são necessários ensaios adicionais
Roturas de bordo	Qualquer	Reparar a estrada e reconstruir a berma	

5

Medidas Estruturais

5. Medidas Estruturais

As medições de deflexão e os ensaios de cone de Penetração Dinâmico (DCP) são usados para obter informações importantes sobre as propriedades estruturais do pavimento da estrada, identificar a causa do desempenho diferencial entre as subsecções e fornecer informações para a manutenção ou reabilitação da secção.

Em muitos casos, as propriedades estruturais variam ao longo do ano como resultado de mudanças no conteúdo de humidade do pavimento da estrada, especialmente o leito. Nestas circunstâncias, os ensaios devem ser realizados no final da estação das chuvas, quando a estrada está mais fraca. Os resultados destes ensaios não destrutivos são geralmente confirmados por um número limitado de amostragem destrutiva e ensaio de material.

5.1 Ensaios de Deflexão

A resistência de um pavimento de estrada está inversamente relacionada à sua máxima deflexão vertical sob uma carga dinâmica conhecida. A Tabela 5-1 lista os dispositivos de deflexão mais comuns, seus regimes de carregamento e saída.

Tabela 5-1 Métodos de Medição de Deflexão

Dispositivo	Tipo de carga aplicada	Resultado	Observações
Viga de deflexão	Roda de camião em movimento	Deflexão máxima apenas	Lento e relativamente impreciso, mas menos dispendioso. Ainda em uso comum
Deflectómetro	Roda de camião em movimento	Bacia de Deflexão (parcial)	Essencialmente um viga de deflexão automatizado. Percorre 5 km/h, mas faz uma medição a cada 2 metros.
Deflectómetro de Impacto Pesado	Impacto	Bacia de Deflexão	O instrumento de escolha. Preciso e confiável, mas precisa ser interrompido por 2-3 minutos para fazer uma leitura, o que às vezes é inconveniente nas estradas principais.

O menos caro desses instrumentos é o viga de deflexão. Este é um dispositivo mecânico que mede a deflexão máxima de um pavimento de estrada sob as duas rodas traseiras de um camião carregado lentamente em movimento. Os procedimentos de ensaio e levantamento recomendados para o viga de deflexão são fornecidos no Apêndice D. No passado, uma carga do eixo traseiro de 63,2 kN era normalmente usada e, portanto, ainda é comum porque é mais fácil de carregar o camião e porque os engenheiros estão familiarizados com os valores de deflexão que produz. No entanto, nos últimos anos, cargas mais pesadas nos eixos também foram usadas, mais comummente 80 ou 100 kN. Nesta faixa de cargas, a deflexão máxima é geralmente linearmente relacionada à carga aplicada. Portanto, para pavimentos estruturalmente adequados, onde o estresse excessivo não é um perigo, os valores de deflexão podem ser medidos com essas cargas mais altas e então normalizados para qualquer carga padrão para fins de comparação.

A deflexão máxima sob uma carga de roda móvel é um indicador das propriedades elásticas do pavimento e, portanto, um bom indicador de sua capacidade geral de distribuição de carga. Embora não seja uma medida directa da resistência, demonstrou-se correlacionar-se bem com o desempenho a longo prazo dos pavimentos sob tráfego. Por exemplo, se uma estrada estiver sub-projectada para o tráfego que está carregando por qualquer motivo (por exemplo, avaliação incorrecta da resistência do leito ou do tráfego), as tensões nas camadas inferiores do pavimento serão muito altas e o pavimento se deteriorará desenvolvimento de rodeiras. Sob tais circunstâncias, a deflexão se correlacionará com a profundidade da rota, conforme mostrado esquematicamente na Figura 5-1, e tal correlação fornece uma indicação das razões para a rotura.

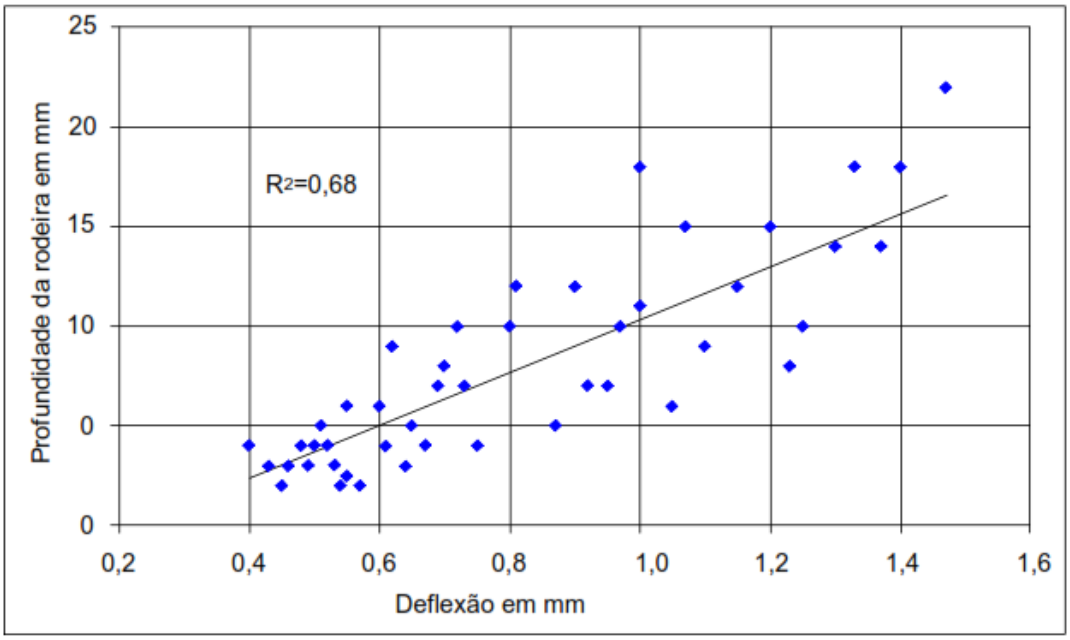


Figura 5-1 Exemplo de uma correlação entre a deflexão e a profundidade da rodeira

Há vantagens em usar o equipamento de deflexão capaz de medir os parâmetros da bacia de deflexão além da deflexão máxima. O Deflectómetro de Impacto Pesado (FWD) é o mais popular. Tem a vantagem de poder aplicar cargas de impacto que simulam com mais precisão o efeito em pavimentos de veículos pesados que se movimentam em velocidades normais de tráfego do que as aplicações de carga em movimento lento associadas ao deflectógrafo ou ao viga de deflexão. Os procedimentos para o uso de equipamentos FWD para levantamentos de estradas são fornecidos no Apêndice D.

A análise completa dos dados da bacia de deflexão depende de um modelo adequado para calcular a resposta do pavimento à carga aplicada. A maioria dos programas de análise baseia-se no pressuposto de que o pavimento se comporta, em primeiro lugar, como uma estrutura multicamada constituída por camadas linearmente elásticas. Usando um tal modelo, é possível calcular o módulo de elasticidade "eficaz" de cada camada de pavimento a partir do conhecimento da forma da taça de deflexão. Esse procedimento de "análise reversa" requer dados de deflexão precisos que se estendem da deflexão máxima central até os valores de deflexão em desvios radiais de até 2,1 metros.

No entanto, o modelo elástico linear é um modelo muito simples de pavimentos rodoviários. Os materiais rodoviários exibem propriedades que não cumprem as suposições do modelo. Por exemplo, o módulo elástico de materiais não ligados não é constante, mas depende das tensões a que o material é submetido em cada ponto da estrutura. Os materiais não são lineares. Esta é uma consideração particularmente importante para o leito, porque o módulo do leito tem uma influência muito forte na forma de toda a bacia de deflexão. Erros ou imprecisões nas suposições aqui dão origem a erros nos cálculos dos módulos de todas as outras camadas.

Uma consideração adicional é a capacidade dos programas de computador para lidar com estruturas complexas. Quanto mais camadas estiverem presentes, mais difícil será para os programas identificar uma solução exclusiva adequada.

A aceitabilidade dos resultados da análise do pavimento depende mais da habilidade do analista do que da sofisticação do programa de análise. Como parte do Programa de Pesquisa de Estradas Estratégicas nos EUA, foram desenvolvidas directrizes para estimar os módulos elásticos da camada de pavimento por meio de cálculos de retorno dos dados da bacia de deflexão (FHWA-RD-01-113 (2002). *Cálculo retroactivo de parâmetros de camada para secções de ensaio LTPP Volume II*: Análise elástica em camadas para pavimentos flexíveis e rígidos). Essas directrizes fornecem uma base razoável para a análise retrospectiva dos pavimentos de estradas, mas deve-se ter em mente que há muitos exemplos de interpretação muito fraco dos dados do campo de deflexão e muitos erros sérios e caros resultantes do excesso de confiança nos programas de análise anteriores.

Basicamente, o FWD mede a bacia de deflexão com precisão, mas sua interpretação automática adequada e confiável requer programas de análise mais sofisticados do que os disponíveis actualmente. Portanto, uma boa análise depende da habilidade do analista que fará uso dos dados de deflexão, mas apenas como um dos vários conjuntos de dados à sua disposição.

No entanto, o valor da deflexão máxima central é essencial para analisar pavimentos de estradas e determinar medidas de reabilitação adequadas. Outras características da bacia de deflexão podem fornecer informações comparativas extremamente valiosas. Um gráfico de desempenho dos dados de deflexão do FWD pode ser plotado para mostrar a variação da resposta do pavimento ao longo da estrada, Figura 5-2. Com referência à Tabela D1 (Apêndice D), os critérios de deflexão escolhidos são geralmente d1, d6 e (d_1-d_4).

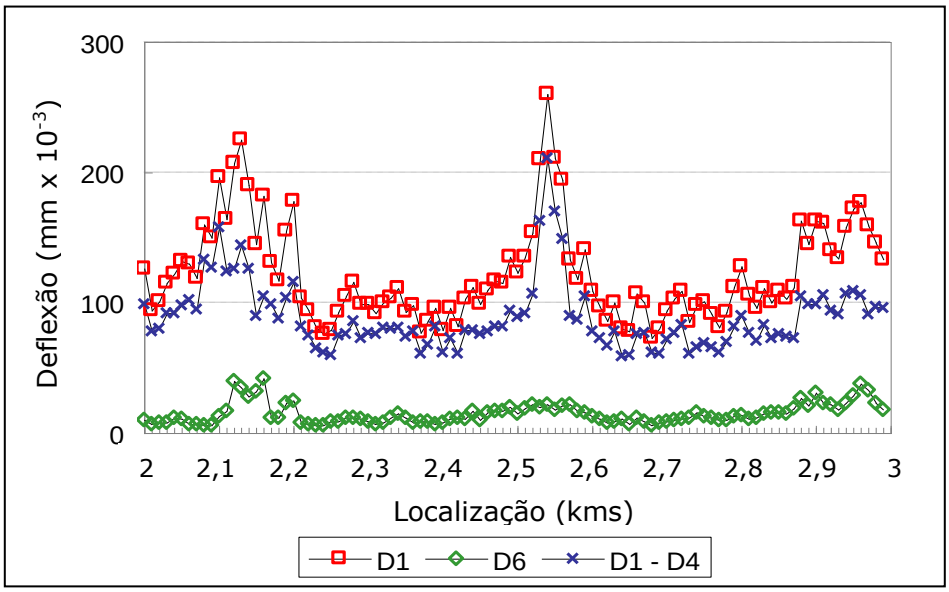


Figura 5-2 Parâmetros de deflexão plotados ao longo da estrada

A deflexão máxima, d_1, dá uma indicação do desempenho geral do pavimento enquanto a diferença de deflexão (d_1-d_4) se relaciona com a condição das camadas de pavimento ligadas.

A deflexão d_6 é um indicador da condição do leito. Embora os valores reais da deflexão dependam do tipo e condição das camadas do pavimento, essas parcelas mostram diferenças relativas na sua condição e dão uma indicação de quaisquer fraquezas estruturais.

5.2 Ensaio de Cone de Penetração Dinâmico

O DCP é um instrumento que pode ser usado para a medição rápida da resistência *in situ* de pavimentos existentes construídos com materiais não ligados. As medições podem ser feitas até uma profundidade de aproximadamente 800 mm ou, quando uma haste de extensão é instalada, a uma profundidade de 1200 mm. Onde as camadas do pavimento têm resistências diferentes, os limites entre eles podem ser identificados e a espessura de cada camada estimada. O funcionamento do DCP e a análise dos resultados estão descritos no Apêndice B.

Os ensaios de DCP são particularmente úteis para identificar a causa da deterioração da estrada quando esta está associada a uma das camadas de pavimento não ligadas, p.e. rotura por corte da base ou sub-base. Uma comparação entre os resultados do ensaio de DCP de subsecções que estão apenas a começar a romper e aquelas que são sólidas identificarão rapidamente a camada do pavimento que é a causa do problema.

Em algumas circunstâncias, é conveniente converter as espessuras e resistências individuais da camada do pavimento medidas no ensaio de DCP num valor numérico simples que representa a resistência combinada das camadas do pavimento. Isto é feito calculando o Número Estrutural (SN) como mostrado na Equação 6.1.

$$SN = a_1 h_1 + a_2 h_2 + a_3 h_3 + \qquad \text{Equação 6.1}$$

Onde

h_1, h_2 h_3, etc são as espessuras de cada camada em *polegadas*

a_1, a_2, a_3 etc são os coeficientes de resistência para cada camada.

Os coeficientes da camada estão relacionados aos ensaios padrão para os materiais do pavimento e estão descritos no Guia AASHTO para Projecto de Estruturas de Pavimentos (1993) e apresentados no Apêndice A. Para levar em conta variações na resistência do leito, o número estrutural modificado (SNC) também pode ser calculado (Hodges et al, 1975), conforme mostrado na Equação 6.2

$$SNC = SN + 3{,}51\ (\log_{10} CBR) - 0{,}85\ (\log_{10} CBR)^2 - 1{,}43 \qquad \text{Equação 6.2}$$

Onde CBR é o estimado CBR *in situ* do leito em cada ponto do ensaio de DCP.

Se houver suspeita de que as roturas na estrada estejam relacionadas à resistência estrutural geral do pavimento, o Número Estrutural Modificado de subsecções diferentes pode ser prontamente comparado para identificar a fraqueza.

5.3 Amostragem Destrutiva e Ensaio de Material

Quando os resultados do levantamento de condições indicam que as propriedades do revestimento de asfalto podem ser a causa do desempenho diferencial entre as subsecções (consulte as Secções 7.1 a 7.6), isso deve ser confirmado por ensaios adicionais. Amostras de carote de 150 mm de diâmetro suficientes precisam ser tiradas de cada subsecção para garantir que os valores representativos para a composição e propriedades da superfície de asfalto sejam obtidos. Antes de testar, os carotes devem ser examinados para estabelecer o seguinte:

1. Espessura de cada camada de ligante
2. Grau de ligação entre camadas de asfalto;
3. Ocorrência de qualquer descasque; e
4. Profundidade de fissuras (se necessário).

Onde somente a espessura do revestimento betuminoso deve ser medida, então os carotes de 50-100 mm de diâmetro são satisfatórios. Carotes semelhantes podem ser usados para perfis de carote transversais, como os mostrados na Figura 3-5, que são usados para confirmar se a escavação for o resultado de rotura por corte no revestimento ou em uma das camadas inferiores de pavimento não ligado.

Quando as medições de deflexão e os resultados do ensaio de DCP indicam que a espessura ou as propriedades das camadas inferiores do pavimento são a causa do desempenho diferencial, então os poços de ensaio são necessários para obter informações adicionais sobre o material para confirmar esses resultados. O procedimento recomendado para a realização de investigações de ensaios é dado no Apêndice F.

Todas essas investigações são usadas tanto para fornecer uma explicação para o comportamento actual do pavimento quanto para fornecer informações para sua reabilitação. Cada poço de ensaio fornecerá informações sobre a espessura de cada camada de pavimento e propriedades do material. Estes podem então ser comparados aos valores especificados.

5.4 Ensaio de Resistência à Derrapagem

Quando o levantamento detalhado da condição da superfície indica que a superfície tem uma textura pobre ou agregado polido, uma pesquisa quantitativa geralmente será necessária. Esta pesquisa pode ser dispensada se a estrada estiver a sofrer de outras roturas que exigem que a estrada seja ressurgida.

A profundidade da textura das superfícies betuminosas é medida pelo ensaio do arenito (BS 598, 1990). O procedimento de ensaio é descrito no Apêndice E. Existem também outros instrumentos de custo relativamente baixo, como o Mini-Texture Meter (Departamento de Transporte, 1994a), que fornece medições contínuas da textura da superfície e são mais rápidos e mais convenientes de usar. No entanto, os resultados dos medidores de textura precisam ser calibrados contra o ensaio de remendo de areia se eles devem ser comparados com as especificações. O ensaio de remendo de areia dá um único valor de textura em um ponto e, portanto, um número de ensaios é necessário para dar um valor representativo para a estrada. Isso é feito selecionando-se secções de estrada de 50 metros de comprimento, que cobrem a faixa de gravidade do defeito registado durante a pesquisa detalhada da condição. Uma média de dez ensaios, geralmente na trajectória das rodas lateral do bordo, deve ser usada para caracterizar cada secção de 50 metros. As secções também devem ser escolhidas em áreas perigosas, como as aproximações e de curvas. Esses valores podem então ser comparados aos padrões nacionais, onde foram estabelecidos, para identificar os comprimentos da estrada que precisam de recapeamento.

A microtextura, em termos do valor de "resistência à derrapagem" (SRV), pode ser medida usando o dispositivo de resistência à derrapagem portátil (RRL, 1969) (ASTM, E 303-93). O procedimento de ensaio está descrito no Apêndice E. Um valor representativo de SRV pode ser obtido de maneira similar àquela descrita para a profundidade da textura, com o valor médio de dez resultados sendo usado para caracterizar uma secção de 50 metros da estrada. Estes valores podem então ser comparados com os padrões nacionais, onde foram estabelecidos, para identificar os comprimentos da estrada que necessitam de recapeamento.

Outros instrumentos também estão disponíveis para medir a resistência à derrapagem, incluindo uma máquina para medir o SFC (coeficiente lateral de resistência) continuamente ao longo da estrada e o Ensaio de aderência.

Se os padrões nacionais não estiverem disponíveis, então aqueles recomendados no Reino Unido podem ser usados como um guia, Tabela 5-2.

Tabela 5-2 Valores sugeridos de "resistência à derrapagem

Tipo de terreno	Minímo SRV @ 20°C
Rotundas,	65
Curvas com raio <50m,	
Gradientes> 1 em 20 e mais de 100m	
Abordagens para semáforos	
Estradas com mais de 2000 vpd	55
Todos os outros locais	45

6 Separação de Dados em Secções Homogêneas

6. Separação de Dados em Secções Homogêneas

6.1 Objectivo

Estrada deve ser dividida em secções homogêneas, a fim de propor solução de dimensionamento apropriado. Normalmente, as secções são identificadas com base no tipo de construção, resistência actual, composição do pavimento e carga. O método da soma cumulativa e o coeficiente de variação descritos neste capítulo devem ser usados para determinar as secções homogêneas ao longo da estrada.

6.2 Método de Soma Cumulativa

O processo de determinação secções homogêneas é facilmente realizado usando um programa de planilha electrónica. O procedimento para separar secções homogêneas é o seguinte:

1. A primeira coluna da planilha é usada para inserir as localizações nas quais as medições foram realizadas. Isso deve ser inserido na ordem de aprovação.
2. Na segunda coluna adjacente à localização, os dados correspondentes à localização de medição são inseridos. A média desses dados é calculada.
3. Na terceira coluna, a diferença entre os dados e a média é calculada em cada ponto de medição.
4. Na quarta coluna, a diferença na coluna três é cumulativamente somada. A soma cumulativa é calculada da seguinte maneira.

$$S_i = (x_i - x_m) + S_{i-1}$$

onde

x_i = valor de dados na localização i

x_m = valor médio

S_i = soma cumulativa dos desvios do valor médio na localização i.

(i) As somas cumulativas na quarta coluna são então plotadas em relação às cadeias de medidas.

(ii) Secções homogêneas são então seleccionadas por inspecção visual. Mudanças na inclinação da linha que conecta as somas cumulativas indicarão uma mudança nas características e o limite entre as seções homogêneas. Figura 6-1 ilustra o método.

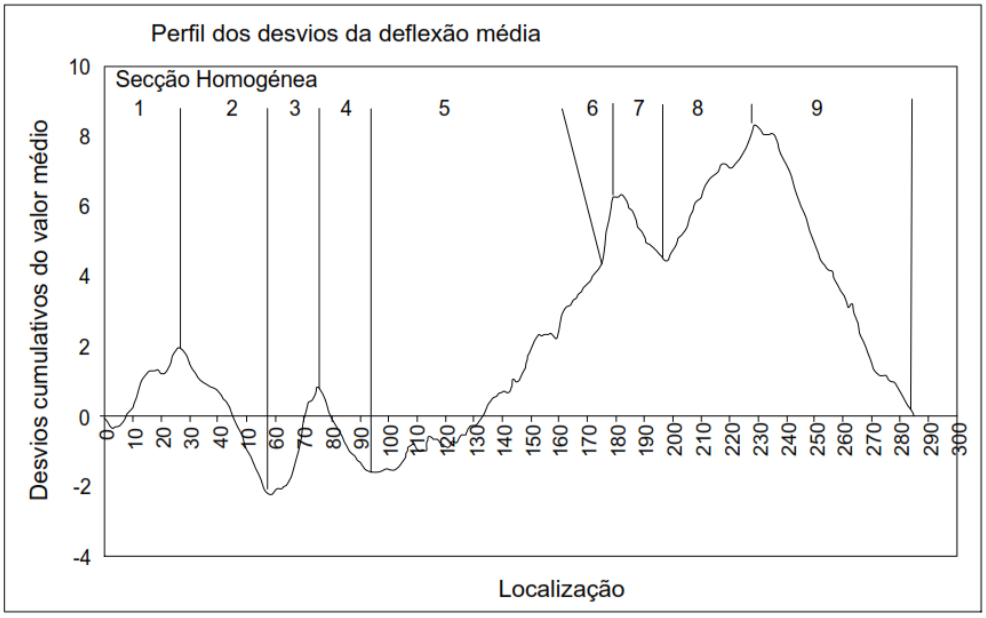


Figura 6-1 Gráfico de soma cumulativa típica

6.3 Coeficiente de Variação

O coeficiente de variação (CoV = desvio padrão/média) também pode ser usado para determinar o nível de homogeneidade usando as seguintes directrizes.

CoV < 0.20	Homogeneidade boa
0.2 < CoV < 0.3	Homogeneidade moderada
CoV > 0.3	Homogeneidade fraca

CoVs maiores que 0.3 geralmente indicam uma distribuição altamente distorcida. Isso pode ser produzido, por exemplo, com dados de deflexão, por um número de pontos relativamente "mais fortes" dentro de uma secção mais fraca. Outras autoridades recomendaram que uma secção homogênea é aquela em que os valores têm um CoV de 0,25 ou menos.

O estágio final do procedimento é calcular os valores dos dados representativos para cada secção homogênea da estrada. O método proposto tenderá a separar áreas de valores de dados extremos em áreas que requerem tratamento especial ou reconstrução e, portanto, a distribuição das medidas de dados restantes se aproximará de uma distribuição normal. O valor de dados representativos, que normalmente é o valor do percentil 90, pode ser calculado da seguinte forma:

Valor dos dados representativos = média + 1,3 desvio padrão.

7

Identificação das Causas do Deterioração do Pavimento

7. Identificação das Causas da Deterioração do Pavimento

7.1 Introdução

A última etapa do processo de avaliação é estabelecer a causa ou as causas da deterioração do pavimento, interpretando os dados recolhidos durante a pesquisa da condição de superfície e os ensaios adicionais. As causas da deterioração combinadas com a extensão das roturas devem ser consideradas em conjunto ao seleccionar o método mais apropriado de manutenção ou reabilitação. Estes estão resumidos na Tabela 7-1 e na Tabela 7-2.

Além dos defeitos superficiais, como desgaste e exsudação, as estradas de superfície betuminosas geralmente se deterioram, tanto na rodeira como nas fissuras. Para ajudar a identificar a causa da deterioração, a rodeira e a fissuração foram subdivididos em seis categorias com base na natureza da rotura, sua posição e o tipo de construção da estrada. Esses são;

1. rodeira sem escavação
2. rodeira com escavação
3. fissura na trajectória das rodas - revestimento betuminoso
4. fissura na trajectória das rodas - selagem betuminosa fina
5. fissura fora da trajectória das rodas - revestimento betuminoso e
6. Fissuração fora da via - selagem betuminosa fina.

Um método para estabelecer a causa provável ou as causas da deterioração do pavimento é dado nos fluxogramas ilustrados nas Figura 7-1 a Figura 7-5. Esses gráficos não atendem a todos os tipos e estágios de deterioração do pavimento. Em particular, quando uma estrada recebeu uma série de tratamentos de manutenção ou quando a deterioração inicial é oculto por outras roturas progressivas, o problema de identificar a causa inicial da rotura torna-se mais complexo. No entanto, os gráficos fornecem uma estrutura que permite que engenheiros de estradas desenvolvam suas próprias habilidades de avaliação de pavimentos. Os gráficos identificam causas gerais de deterioração, mas não tentam estabelecer problemas específicos de material, porque isso só pode ser feito por meio de amostragem destrutiva e ensaios laboratoriais subsequentes.

7.2 Rodeira Sem Escavação

7.2.1 Indicação

Estas rodeiras costumam ser largas porque são causadas principalmente por movimentos profundos na estrutura do pavimento, e haverá pouca ou nenhuma evidência de escavação no bordo das rodeiras. Esse tipo de rodeiras é o resultado de duas possíveis causas, seja propagação de carga insuficiente ou compactação secundária. A Figura 7-1 mostra o fluxograma utilizado na diferenciação das possíveis causas.

7.2.2 Possíveis causas

Propagação de carga insuficiente é o resultado das camadas do pavimento serem muito finas para proteger o leito. É caracterizada por um aumento na rodeira com a carga de tráfego. Onde há dados históricos sobre a progressão da rodeira e do tráfego, ou onde há uma diferença significativa na carga de tráfego entre as duas faixas, então essa relação pode ser estabelecida. Mais geralmente, esta informação não estará disponível e será necessário mostrar uma relação entre a severidade da rodeira e a deflexão do pavimento da estrada no momento da avaliação. Se o equipamento de deflexão não estiver disponível, uma análise similar pode ser completada relacionando a severidade da rodeira com a resistência da estrada, medida pelo DCP.

7.2.3 Compactação Secundária

Se a severidade da rodeira não estiver relacionada com a resistência do pavimento da estrada, a causa mais provável da rodeira é a compactação secundária de uma ou mais camadas do pavimento pelo tráfego durante o início da vida da estrada. Neste caso, a taxa de aumento da rodeira diminuirá após a fase inicial de compactação.

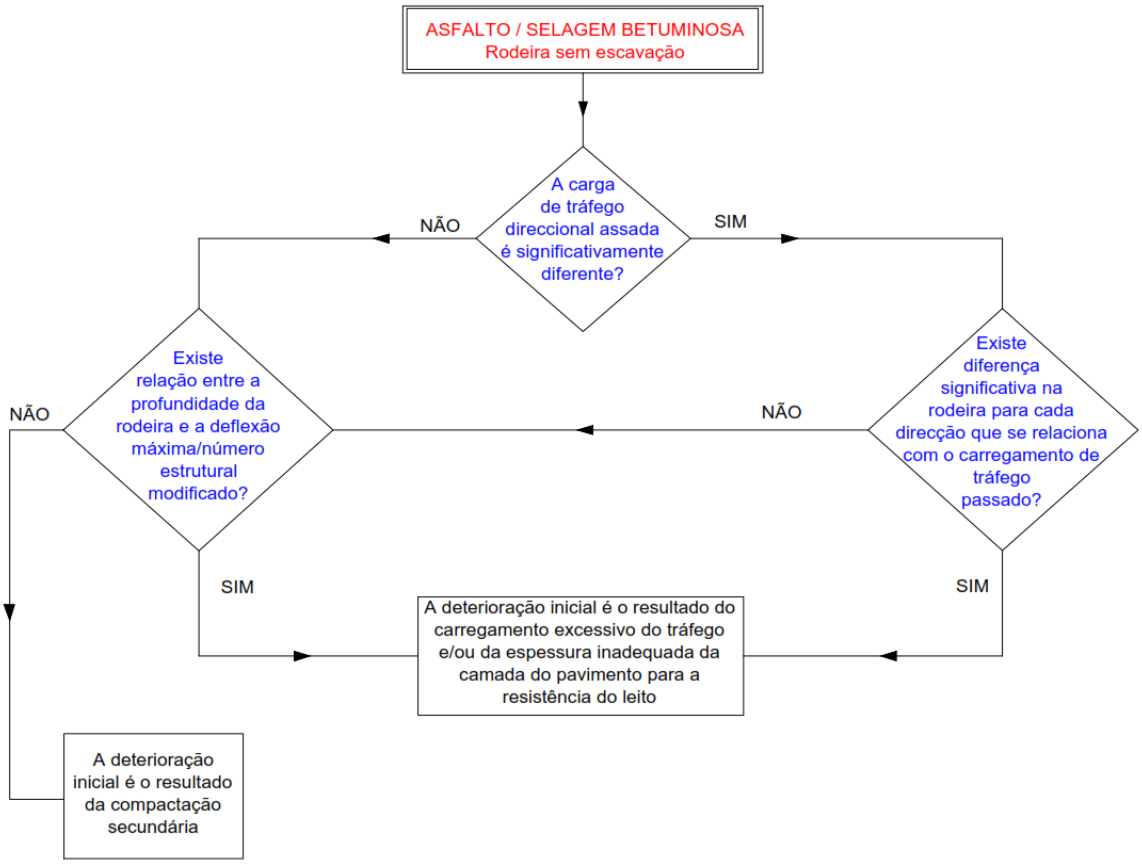


Figura 7-1 Rodeira sem Escavação

7.3 Rodeira Com Corrugação

7.3.1 Indicação

Esta se manifesta como uma rodeira com escavação paralela ao bordo da rodeira e é indicativo de uma rotura por corte numa das camadas do pavimento. Este defeito é

possivelmente devido à camada de pavimento ter uma resistência ao corte inadequada para suportar as tensões de tráfego aplicadas nessa profundidade particular no pavimento. A Figura 7-2 mostra o fluxograma usado na identificação da causa desse defeito.

7.3.2 Possíveis causas

Diferentemente da rodeira descrita na Secção 7.2, a severidade da rodeira não estará normalmente relacionada à resistência total do pavimento, conforme indicado por seu desvio ou número estrutural modificado. As roturas são geralmente confinadas às camadas superiores do pavimento onde as tensões de tráfego aplicadas são mais altas. Um processo de eliminação é usado para identificar qual camada falhou, Figura 7-2. Se o pavimento tiver revestimento de asfalto, pode ser utilizado um perfil de carote transversal para determinar em qual camada betuminosa, se houver alguma. Se a rotura não estiver na superfície do asfalto, o DCP pode ser usado para identificar qual das camadas subjacentes do pavimento é a causa da rotura. Isso é feito comparando a resistência das camadas nas áreas com rotura (mas não completamente fracassadas) com aquelas que são sólidas.

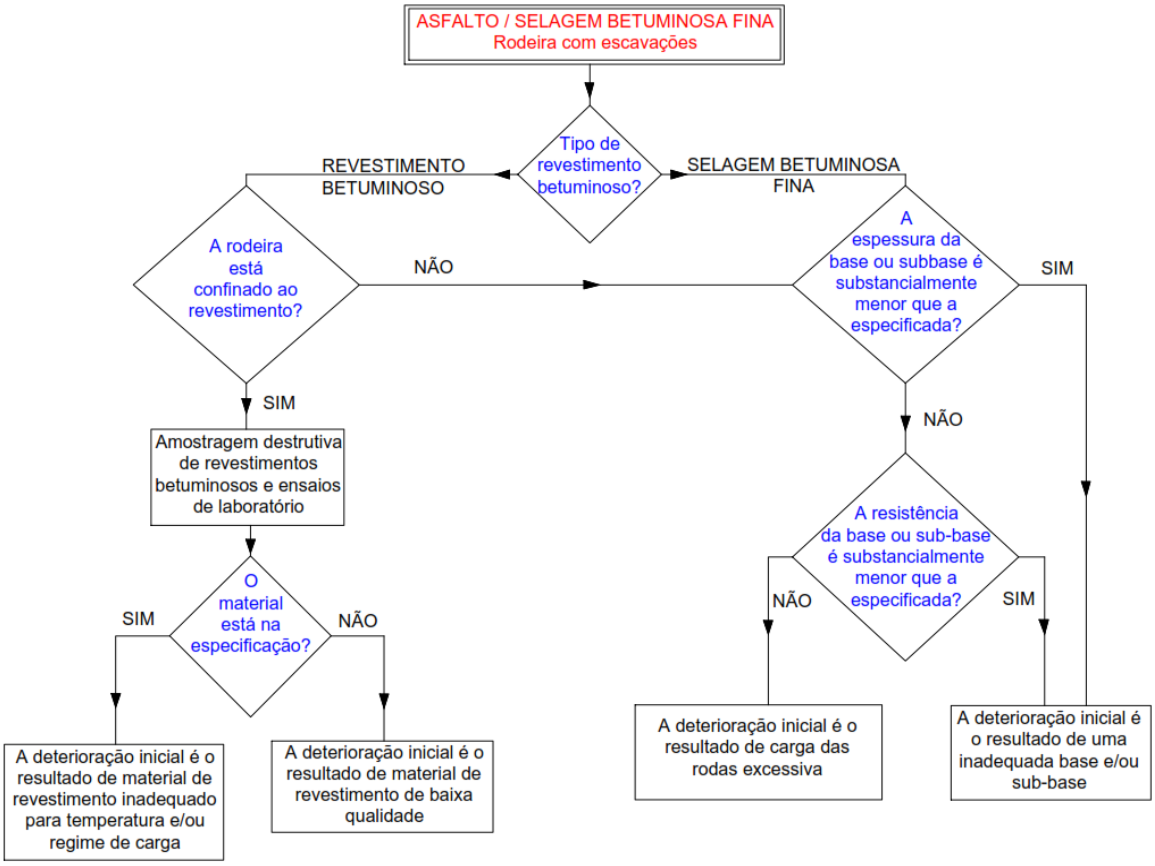


Figura 7-2 Rodeira com Escavação

7.4 Fissuras na via - Revestimento com Betão Betuminoso

7.4.1 Indicação

Isso se manifesta como fissuras ao longo da trajectória das rodas, sem fissuras semelhantes que aparecem entre na trajectória das rodas. Se a fissuração for causada principalmente pelo tráfego, esta deve, por definição, ter origem nas vias ou perto delas. Em casos graves, às vezes é difícil ter certeza se as roturas começam nas vias ou se elas são uma progressão de outra forma de fissura. Este tipo de defeito é geralmente causado por qualquer uma ou por uma combinação de cinco possíveis causas; oxidação, esforços excessivos no leito, o pavimento está em sua vida útil, controlo de má qualidade durante a construção, má adesão do asfalto à base ou reflexo da camada subjacente. A Figura 7-3 mostra o fluxograma usado para diferenciar as possíveis causas.

7.4.2 Possíveis causas

7.4.2.1 Oxidação

Em climas tropicais, o betume no topo das camadas de desgaste de asfalto oxida rapidamente. Isso faz com que o material se torne quebradiço e resulta na abertura de fissuras no topo do revestimento, e não na parte inferior, apesar de as deformações serem mais baixas. Embora causados pela flexão do revestimento, não são necessariamente fissuras de fadiga 'tradicionais', que começam na parte inferior da superfície do asfalto e se propagam para cima.

7.4.2.2 Esforços excessivos nas camadas ou leito do pavimento

Pequenas fissuras longitudinais irregulares nas trajectórias das rodas são frequentemente a primeira etapa da fadiga induzida pelo tráfego da superfície. Depois de mais tráfego dessa interconexão para formar fissura do tipo “Pele de crocodilo”

Onde fissuras do tipo “Pele de crocodilo” são ilustradas, por perfuração, ter começado na parte inferior da camada de asfalto, então elas provavelmente são fissuras de fadiga 'tradicionais' causadas por tensões excessivas na parte inferior do revestimento (o carote confirma isso somente se todas as fissuras estiverem para se estender através dos carotes e, mesmo assim, não é certo que eles começaram no fundo). Tensões excessivas podem ser causadas por um leito fraco, dando origem a grandes deflexões máximas ou a uma fraca base de estrada levando a pequenos raios de curvatura. As fissuras do tipo “Pele de crocodilo” ocorre muito raramente sem qualquer rodeira; no primeiro caso, devido à expansão insuficiente da carga; no último caso, por causa da rotura por corte na base de estrada.

Em algumas circunstâncias, a fissura tradicional por fadiga pode ocorrer simplesmente porque a estrada chegou ao fim de sua vida útil; em outras palavras, nenhuma outra forma de rotura ocorreu anteriormente. Este é um fenómeno relativamente raro e, por essa razão, às vezes é difícil identificá-lo devido à necessidade de calibrar as relações padrão de fadiga de asfalto para as condições locais. No entanto, a idade da superfície e o tráfego transportado devem fornecer as pistas mais importantes.

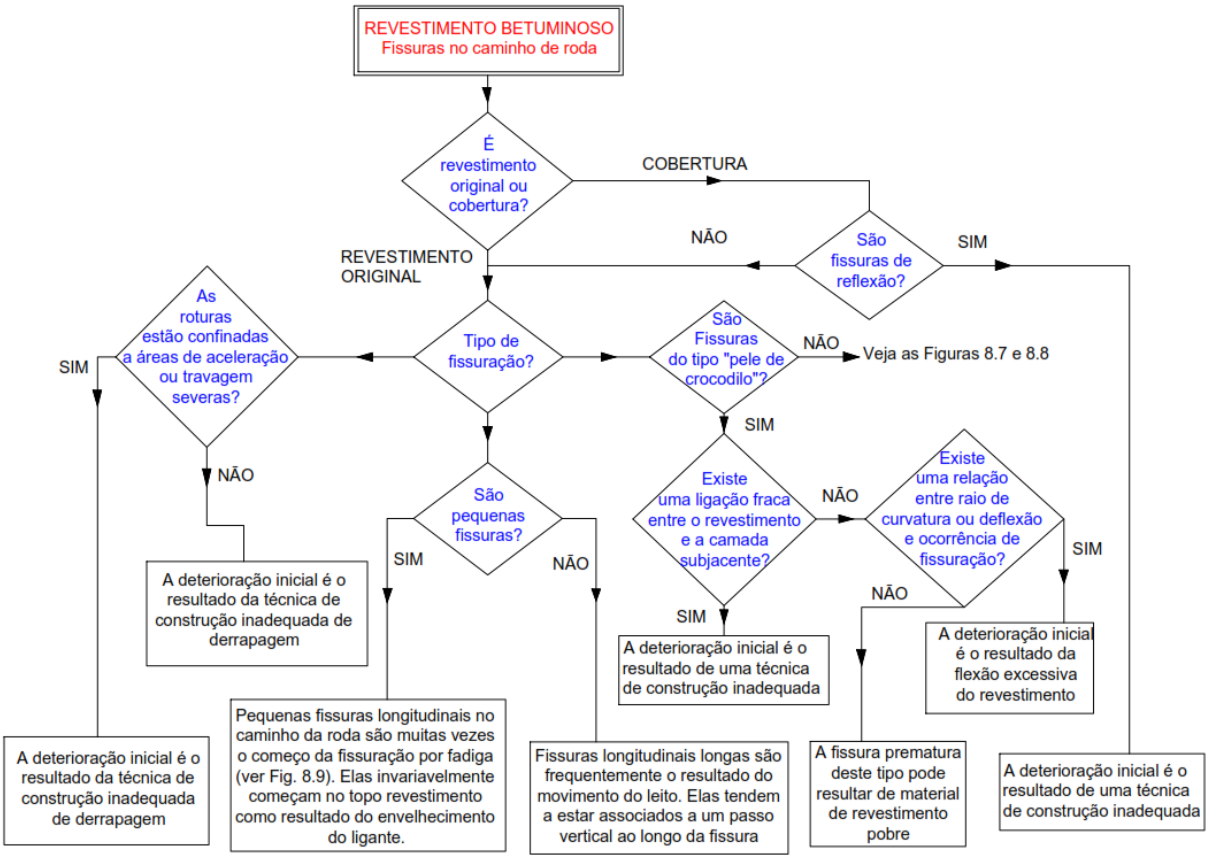


Figura 7-3 Fissura na via - Revestimento em betão Betuminoso

7.4.2.3 Fraca qualidade de controlo durante a construção

Materiais de revestimento de baixa qualidade também podem resultar em fissuras do tipo "Pele de crocodilo". O controlo de qualidade inadequado exercido durante a fabricação e a construção de superfícies densas pode levar a uma distribuição de tamanho de partícula má, baixo teor de betume, segregação e má compactação, o que tornará o material mais susceptível a fissuras. Roturas deste tipo podem ocorrer em áreas onde as deflexões são satisfatórias e onde pouco ou nenhuma rodeira ocorre.

7.4.2.4 Fraca ligação do revestimento à base

Se a ligação entre o revestimento de asfalto e a camada subjacente for fraca, então a superfície pode efectivamente "saltar" sob acção do tráfego. Isso resulta rapidamente em fissuras do tipo "Pele de crocodilo" nas vias e é caracterizado por blocos de menos de 200 mm quadrados. A causa da fraca ligação pode ser a injecção ineficaz da base da estrada ou revestimento de aderência deficiente antes de colocar uma cobertura. Muitas vezes, as fissuras vão progredindo para laminações, que são buracos rasos que são claramente o resultado do "descascamento" da superfície.

Fissuras parabólicas na superfície que ocorrem em áreas de frenagens severas, como as aproximações de junções e curvas acentuadas, são causadas por deslizamento e também são o resultado de uma fraca ligação. Pequenas áreas de fissuração parabólico não são indicativas de rotura grave. No entanto, se for mais extenso, a causa provável é um revestimento de aderência inadequado ou o uso de agregado macio no revestimento que, ao quebrar, resulta em uma ligação fraca e subsequente deslizamento.

7.4.2.5 Reflexão das camadas subjacentes

A fissuração em coberturas betuminosas, particularmente as viasn, pode ser causado por fissuras na camada subjacente "reflectindo" através da cobertura. As fissuras de reflexão geralmente ocorrem no início da vida da cobertura e são frequentemente associadas ao bombeamento de material fino de uma camada granular inferior. Carotes cortados por fissuras na nova revestimento determinarão se eles estão sendo causados por fissuras existentes em camada inferior do pavimento.

7.5 Fissuras na trajectória das rodas - Revestimento betuminoso fino

7.5.1 Indicações

Isso se manifesta como fissuras ao longo da trajectória das rodas em superfícies betuminosas finas, mas com a ausência de fissuras semelhantes entre as trajectórias das rodas.

A película de betume em revestimentos superficiais é muito espessa em comparação com a espessura de película efectiva em revestimentos de asfalto e é mais tolerante à flexão sob acção do tráfego. Erros no projecto ou construção desses pavimentos são mais propensos a resultar em roturas, como exsudação ou perda de pedra, em vez de fissuras. No entanto, à medida que o pavimento envelhece, o endurecimento por envelhecimento do betume pode resultar em fissura ou atrito na trajectória das rodas. É causado por um ou uma combinação de três causas possíveis; flexão excessiva, fissuras reflexivas ou má adesão da superfície à base.

7.5.2 Possíveis causas

7.5.2.1 Flexão excessiva

Se a fissuração for causada por excesso de flexão sob acção do tráfego, ela será associada a áreas de alta deflexão.

7.5.2.2 Fissuras de Reflexão

Onde o revestimento foi usado para pavimentar uma camada de asfalto com fissura existente, qualquer fissura subsequente pode ser causada pela reflexão de fissuras da superfície anterior. Selagens com lama asfáltica são particularmente susceptíveis a fissuras de reflexão.

7.5.2.3 Ligante fraco

Revestimento betuminoso com uma ligante fraco com a base da estrada subjacente se comportará de maneira semelhante à de um revestimento de asfalto. Neste caso, toda a água que passar pela fissuração resultante irá agravar a fraca ligação, resultando na rápida formação de buracos. Este pode ser um problema particular com as bases estabilizadas se estas não estiverem preparadas de forma eficaz antes de serem pavimentadas.

7.6 Fissuras fora da via - Revestimento com Betão Betuminoso

7.6.1 Indicações

Isso se manifesta como fissuras não confinadas a via. Seu intervalo de espaçamento pode ser regular ou aleatório.

A causa da quebra tráfego associada a fissuras no revestimento de asfalto é amplamente estabelecida pela identificação de seu tipo. Como o tráfego desempenhou pouco ou nenhum papel nestas roturas nas estradas, as fissuras não serão confinadas às trajectórias das rodas e não haverá rodeiras substanciais. A fissura fora da via pode assumir a forma de fissuras longitudinais, transversais, do tipo bloco ou "pele de crocodilo". Eles podem ser causados por uma única ou combinação das quatro causas possíveis; reflexão de uma camada subjacente, movimento do leito, movimento vertical nas estruturas ou encolhimento. A Figura 7-4 mostra o fluxograma que pode ser usado para identificar a possível causa desse defeito.

7.6.2 Possíveis Causas

As tensões térmicas podem causar fissuras ao longo de juntas de construção longitudinais fracas e em áreas de gradientes de temperatura severos, como o bordo das marcações da estrada. Em seus estágios iniciais, nenhum desses tipos de fissuras é particularmente sério; no entanto, se não forem seladas, as fissuras se espalharão para as trajectórias das rodas, onde resultarão em uma deterioração mais séria.

Quando ocorrem fissuras longitudinais e transversais em combinação, elas provavelmente são fissuras de reflexão propagando-se de uma camada estabilizada inferior ou fissuras causadas por tensões térmicas ou de contracção no asfalto.

As fissuras longitudinais causadas pelo movimento do leito geralmente serão bastante longas e podem serpentear pela faixa de rodagem. Podem ocorrer devido à construção deficiente, a dilatação em um leito de plástico ou a materiais de aterro e ao assentamento ou colapso de aterros. Fissuras causadas pelo escorregamento de um aterro ocorrerão frequentemente em padrões semicirculares, e tanto essas como as fissuras causadas pelo movimento do leito serão frequentemente associadas a um deslocamento vertical através das fissuras.

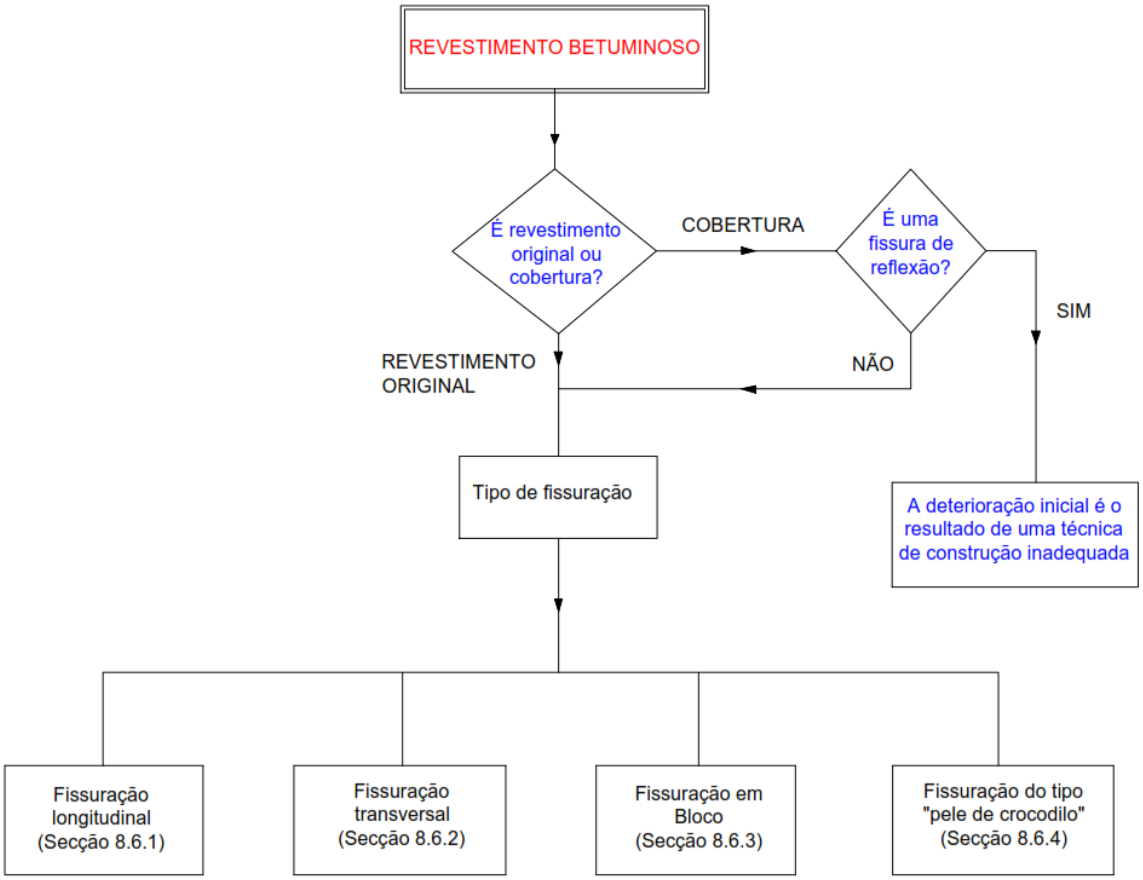


Figura 7-4 Fissuras fora da via - Revestimento em Betão Betuminoso

7.6.3 Fissuras Transversais

Fissuras transversais de um pavimento de estrada, que inclui uma base ou sub-base quimicamente estabilizada, provavelmente são fissuras de reflexão da camada estabilizada, particularmente se o estabilizador for cimento. Essas formas de fissuras transversais são frequentemente associadas a fissuras longitudinais e, em casos severos, fissuras em blocos. Essa causa de fissuras transversais pode ser identificada usando-se o fluxograma na Figura 7-5.

Se as fissuras transversais estiverem irregulares ou amplamente espaçadas, elas provavelmente foram causadas por alguma forma de rotura de construção. Movimentos verticais diferenciais causados por consolidação ou compactação secundária adjacente a estruturas rodoviárias e bueiros podem causar fissuras transversais no revestimento. Essas fissuras serão associadas a um perfil de estrada longitudinal ruim causado pelo movimento diferencial.

Fissuras transversais confinadas à superfície e ocorrendo em espaçamentos mais regulares e curtos provavelmente são causadas por tensões térmicas ou de contracção. Este tipo de fissura provavelmente ocorrerá em áreas sujeitas a altas mudanças diurnas de temperatura, como regiões desérticas, e será exacerbado por materiais de superfície de baixa qualidade. Quando fissuras ocorrem após muitos anos de bom desempenho, é provável que o endurecimento progressivo do aglomerante tenha tornado a superfície mais "quebradiça" e, portanto, mais susceptível a fissuras. À medida que as fissuras térmicas transversais progridem, elas se ligam às longitudinais para formar fissuras em

blocos. Tensões térmicas também podem causar fissuras para abrir em juntas de construção transversais.

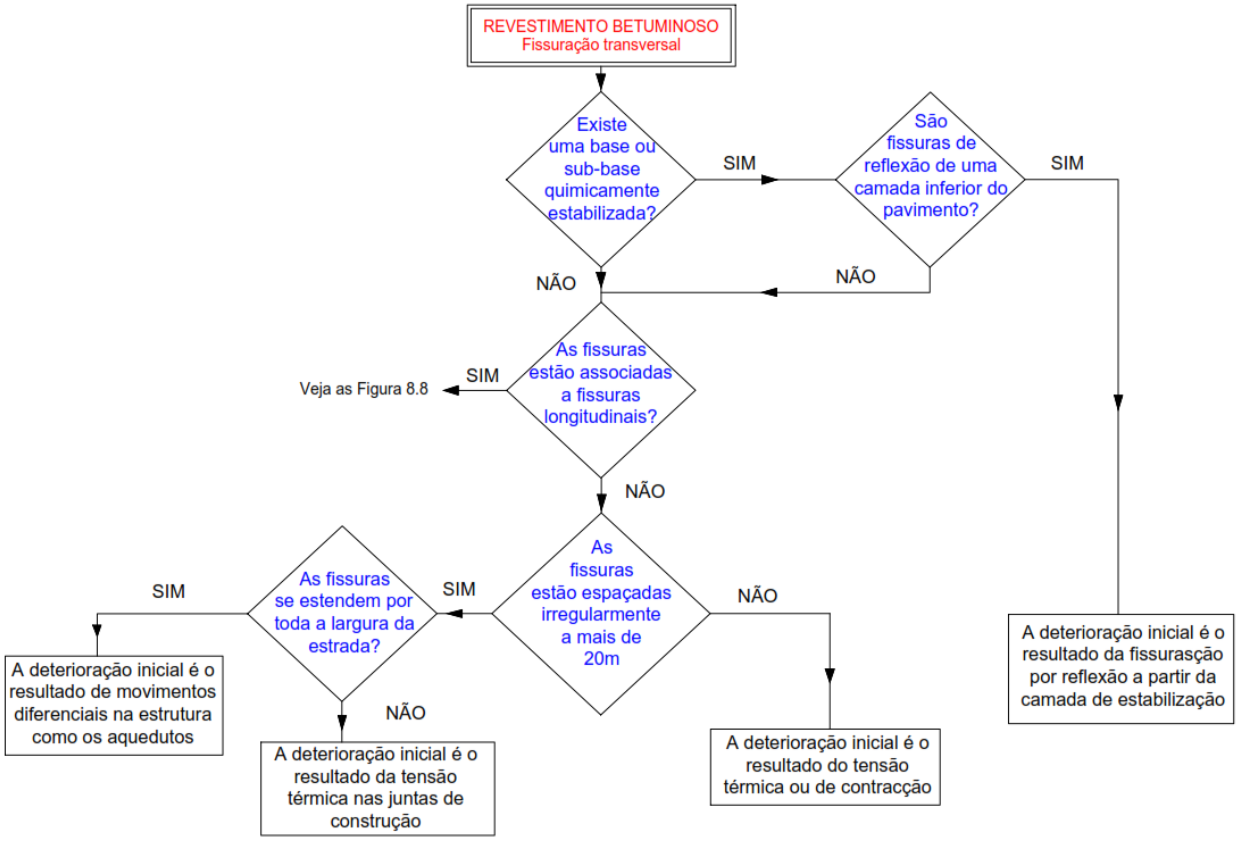


Figura 7-5 Fissuras Transversais

7.6.4 Fissuras em Bloco

As Fissuras em bloco, quando confinadas ao revestimento betuminoso, são geralmente o estágio final de fissuração devido a tensões térmicas. Essas fissuras quase sempre começam no topo da superfície e se propagam para baixo. As fissuras em bloco também podem ocorrer através da reflexão do padrão de rachadura de contracção em camadas quimicamente estabilizadas inferiores.

7.6.5 Fissura do Tipo Pele de crocodilo

A fissura do tipo Pele de crocodilo que não está confinado a trajectória das rodas nem associado a rodeira é indicativo de uma rotura na construção do revestimento. As roturas de produção mais comuns são a distribuição de tamanho de partícula má, o baixo teor de ligante, o betume superaquecido e o uso de agregado absorvente. As roturas de construção incluem má compactação, segregação da mistura e má ligação entre camadas de material betuminoso ou a camada granular abaixo. Nestes casos, a causa precisa da rotura só pode ser determinada por amostragem destrutiva e ensaios laboratoriais.

7.6.6 Fissura fora da via - selagem betuminosa fina

Estradas com revestimentos betuminosos finos são menos susceptíveis a roturas associadas ao tráfego, descritas nas secções 8.6.1 e 8.6.2, porque o filme de betume mais espesso resulta em maior tolerância de deformação. Os revestimentos de

superfície, em particular, são menos propensos a fissuras nas juntas de construção ou ao lado das marcações das estradas. Eles também são menos susceptíveis a fissura térmicas ou por encolhimento. Onde as deformações são grandes, no entanto, como no caso de fissuras de reflexão a partir de uma base de estrada estabilizada ou de movimento de leito, a rotura de superfície será semelhante àquela descrita para revestimentos de asfalto.

7.7 Resumo do processo de diagnóstico

A selecção de reabilitação ou manutenção apropriada é baseada em várias considerações.

1. Em primeiro lugar, a causa da deterioração do pavimento existente deve ser correctamente identificada e avaliada sua importância.
2. Em segundo lugar, deve-se dar atenção à natureza, extensão e gravidade da deterioração para verificar o efeito que ela terá nos tratamentos que estão sendo considerados.
3. Finalmente, a estratégia deve ser economicamente viável levando em consideração tanto os custos de manutenção quanto os custos operacionais do veículo ao longo de vários anos.

Os resultados do processo de diagnóstico descrito acima e o método apropriado de reparo ou reabilitação estão descritos na Tabela 7-1 para estradas com superfície revestida e na Tabela 7-2 para estradas com superfície asfáltica.

Tabela 7-1 Reparação e Reabilitação de Estradas com Pavimento Revestido (sem Revestimento em betão betuminoso)

Rotura Primária	Tratamento de reparação	Novo pavimento	Observações
Rodeira sem escavação (Secção 7.2 e Figura *7-1)*			
Compactação secundária		Camada fina	
Carga excessiva de tráfego ou espessura inadequada do pavimento		Reforço de revestimento, possivelmente também com camada de regulação	Consulte a Secção 9.5, além das secções 9.2 a 9.4
Rodeira com escavação (Secção 7.3 e Figura 7-2)			
Cargas excessivas de rodas	Remover o revestimento e substituir ou modificar a base da estrada existente	Revestimento superficial duplo ou dependendo do tráfego	A base existente pode ser adequada para estabilização com cimento
	Adicionar uma base da estrada betuminosa	Camada de revestimento em betão betuminoso (dependendo do tráfego)	Verificar se a base de estrada existente é adequada para ser re-utilizada para uso como sub-base
Estrada inadequada			
Muito fina	Remover o pavimento e aumentar a espessura da base de estrada com uma revestimento granular.	Revestimento superficial duplo	A estrada existente deve ser escarificada e recondicionada

Rotura Primária	Tratamento de reparação	Novo pavimento	Observações
Muito fraco	Remover o pavimento e substituir ou modificar a base de estrada existente	Revestimento superficial duplo	A base existente pode ser adequada para estabilização mecânica ou modificação com cimento ou cal
	Remover o pavimento e construir uma nova base de estrada	Revestimento superficial duplo	Verificar se a base de estrada existente é adequada para ser re-utilizada para uso como sub-base
Sub-base Inadequada			
Muito Fraca			Considere a sub-base como leito e re-projectar todo o pavimento em conformidade
Fissura na via (Secção 7.5)			
Ligante Fraco	Remover o pavimento onde a ligação é fraca e remendar		
Flexão excessiva exacerbada pelo endurecimento por idade do aglutinante	Remover áreas de fissuras de intensidade 4 ou superior e remendos. Persiga todas as fissuras > 3 mm de largura e revestir com selante de fissuras	Revestimento do Pavimento (nota 2)	Verificar se a estrada precisa de fortalecimento
Fissuras de reflexão	Remover áreas de fissuras de intensidade 4 ou superior e remendos. Perseguir todas as fissuras> 3 mm de largura e revestir com selante de fissuras	Revestimento do Pavimento (nota 2)	
Fissura fora da via			

Rotura Primária	Tratamento de reparação	Novo pavimento	Observações
		Revestimento do pavimento se a fissura de reflexão tiver extensão> 1 (Nota 2)	
Movimento do leito	Imediatamente afastar e revstir todas as fissuras para evitar a entrada de água		O pavimento deve ser revestido com um revestimento de pavimento duplo após o desenvolvimento da fissura ter estabilizado (Nota 2)

Notas

1. O projecto do novo revstimento deve ser responsável pela dureza da superfície existente (consulte o projecto do revestimento de pavimento no *Manual de Dimensionamento de Pavimentos*)
2. Algumas organizações recomendam o uso de camadas de absorção de tensão de tecido. No entanto, estes não são recomendados até que tenham sido introduzidos numa escala piloto e os empreiteiros sejam adequadamente treinados.

Tabela 7-2 Reparação e Reabilitação de Estradas com Pavimento em betão betuminoso

Rotura primária	Tratamento correctivo	Novo revestimento	Observações
Rodeira sem escavação (Secção 7.2 e Figura 7-1)			
Compactação secundária			
Carga excessiva de tráfego ou espessura inadequada do pavimento.	Tratamento de fissuras de reflexão, se necessário	Reforço de revestimento como camada reguladora.	Consulte a Secção 9.5, além das secções 9.2 a 9.4
Rodeira com escavação (Secção 7.3 e Figura 7-2)			

Material de revestimento inadequado ou pavimento fora de especificação	Remover o pavimento que falhou.	Substituir por uma nova camada de revestimento de asfalto.	Certificar-se de que a rodeira esteja confinada ao revestimento. Veja Nota 1
Estrada inadequada			
Muito fina	Remover o pavimento e aumentar a espessura da base de estrada com um revestimento granular.	Novo revestimento de asfalto.	
Muito fraco	Remover o pavimento e substituir ou modifiqcar a base de estrada existente.	Novo revestimento de asfalto.	Base existente pode ser adequada para estabilização mecânica ou modificação com cimento ou cal.
	Remover o pavimento e construir uma nova base de estrada.	Revestimento de pavimento duplo.	Verificar se a base existente é adequada para ser recuperada para uso como sub-base.
Fissura em trajectória das rodas (Secção 7.4 e Figura 7-3)			
Deslizamento isolado.	Remover o revestimento e o pavimento afectados.		
Deslizamento extenso.	Remover o pavimento e substituir.	Camada de asfalto.	
Fissuras confinadas no topo do pavimento		Revestimento de pavimento duplo (Nota 2) ou fresagem de top 25mm e substituição com novo AC	
Ligante fraco	Remover o pavimento onde a ligação é fraca e remendar		Onde as roturas são extensas, o revestimento

			deve ser removido e a estrada revestida com asfalto.
Material de revestimento fraco	Remover áreas de fissuras de intensidade 3 ou superior e remendos. localizar todas as fissuras> 3 mm de largura e selar com selante de fissuras	Revestimento superficial duplo ou revestimento de asfalto (Nota 2).	Onde as roturas são extensas, o revestimento deve ser removido e a estrada revestida com asfalto.
Fissura por Fadiga.	Remover áreas de fissuras de intensidade 3 ou superior e remendos. localizar todas as fissuras> 3 mm de largura e selar com selante de fissuras.	Revestimento superficial duplo ou revestimento de asfalto (Nota 2).	Onde as roturas são extensas, verificar se a estrada precisa ser fortalecida.
Fissuras de reflexão.	Remover áreas de fissuras de intensidade 3 ou superior e patch. localizar todas as fissuras> 3 mm de largura e selar com selante de fissuras	Revestimento superficial duplo ou revestimento de asfalto (Nota 2).	Se a camada de alívio de fissura for usado sob um revestimento de asfalto, as áreas de intensidade de fissura 4 ou maior devem ser removidas e remendadas.
Fissura fora da via (Secção 7.6 e Figura 7-4)			
Fissuras longitudinais			
Em juntas de construção e marcações rodoviárias	localizar as fissuras e selar com selante de fissuras.		

Movimento do leito	Imediatamente afaste e selar todas as fissuras para evitar a entrada de água		O pavimento deve ser selado com um revestimento superficial duplo após o desenvolvimento da fissura ter estabilizado (Nota 3).
Fissuras de reflexão	localizar todas as fissuras> 3 mm de largura e selar com selante de fissuras.	Revestimento superficial duplo se a fissuração da reflexão tiver extensão> 1 (Nota 2).	
Fissura em bloco.			
Fissuras térmicas ou de contração	localizar todas as fissuras> 3 mm de largura e selar com selante de fissuras	Revestimento superficialduplo (Nota 2).	Se a fissura do bloco for severa, o revestimento deve ser removido e substituído.
Fissuras de reflexão	localizar todas as fissuras> 3 mm de largura e selar com selante de fissuras.	Revestimento superficialduplo se a fissuração de reflexão tiver uma extensão superior a 1 (Nota 2).	Se a fissuração for severa, o revestimento deve ser removido e substituído.
Fissura do tipo pele de crocodilo”	Remover o pavimento.	Novo revestimento de asfalto.	Verificar a condição das camadas subjacentes.

Notas

1. Projetos de mistura para condições severas são descritos no Manual de Dimensionamento de Pavimentos. Muitas autoridades também usam ligantes modificados para confiabilidade adicional.
2. Algumas organizações recomendam o uso de camadas de absorção de tensão de tecido. No entanto, estes não são recomendados até que tenham sido introduzidos em uma escala piloto e os empreiteiros estejam adequadamente treinados

7.7.1 Fissura do Tipo "Pele de crocodilo"

A fissura do tipo "pele de crocodilo" que não está confinado na trajectória das rodas nem associado a rodeira é indicativo de uma rotura na construção do revestimento. As roturas de produção mais comuns são a má distribuição do tamanho das partículas, o baixo teor de ligante, o betume superaquecido e o uso de agregado absorvente. As roturas de construção incluem má compactação, segregação da mistura e má ligação entre camadas de material betuminoso ou a camada granular abaixo. Nestes casos, a causa precisa da rotura só pode ser determinada por amostragem destrutiva e ensaios laboratoriais.

7.7.2 Fissuras fora da via - Revestimento betuminoso fino

Estradas com revestimento betuminoso fino são menos susceptíveis a roturas associadas ao tráfego, porque película de betume mais espesso resulta em maior tolerância de deformação. Os revestimentos superficiais, em particular, são menos propensos a fissurar nas juntas de construção ou ao lado das marcações das estradas. Eles também são menos susceptíveis a fissuras térmicas ou por retracção. Onde as deformações são grandes, no entanto, como no caso de fissuras de reflexão a partir de uma base de estrada estabilizada ou de um movimento de leito, a rotura de revestimento será semelhante àquela descrita para revestimentos de asfalto.

7.8 Considerações de Construção

A preparação cuidadosa e correcta do pavimento existente antes da construção de um revestimento é essencial para optimizar o desempenho do revestimento. Grande parte da deterioração que ocorre nas sobreposições resulta da deterioração que não foi reparada adequadamente nos pavimentos existentes.

A condição do pavimento existente consiste em três tipos básicos, ou seja;

1. Fraqueza estrutural profunda
2. Defeitos de superfície que são estruturais na natureza.
3. Defeitos de superfície relativamente superficiais que não são estruturalmente críticos, mas podem afectar o comportamento do revestimento.

7.8.1 Fraqueza estrutural profunda

A espessura do revestimento é projectada para corrigir uma condição de pavimento abaixo da média, mas não para fornecer a resistência estrutural extra necessária para áreas fracas localizadas. Essas áreas fracas devem ter sido identificadas durante as pesquisas de condição e/ou também durante o projecto do próprio revestimento. Elas devem ser corrigidas para fornecer uma base uniforme para o revestimento. Isso é feito por meio de remendos. A profundidade do remendo depende da magnitude da fraqueza e da camada ou camadas que estão com defeito. Uma medição desses aspectos deve estar disponível nas medições do DCP e, portanto, a profundidade necessária também pode ser determinada.

Em geral, essas áreas fracas provavelmente exigirão um remendo profundo no nível de sub-base ou abaixo. O objectivo deve ser o de desenhar o remendo para ser pelo menos tão forte como a parte mais forte do pavimento existente e feito com o mesmo tipo de

material, p.e. pedra britada se a base existente for brita ou material granular estabilizado com cimento se a base existente estiver estabilizada com cimento.

O principal problema é estimar a extensão da área fraca e, portanto, o tamanho do remendo. A condição da superfície, muitas vezes fornece pistas valiosas, mas um grande cuidado deve ser exercido para se certificar de que o tamanho da área fraca não é subestimado. Medições adicionais de DCP ou de deflexão podem ser necessárias.

7.8.2 Defeitos de pavimentação estrutural

Isso inclui a maioria das formas de fissuras e rodeiras. A gravidade determina se uma camada é "além do reparo" e deve ser removida. Em geral, baixos níveis de fissuras podem ser cobertos com um revestimento, mas o asfalto deformado não pode. Todas as condições e opções estão descritas nas Tabela 8-1 e Tabela 8-2.

7.8.3 Controlo da fissura de reflexão

Fissuras de reflexão são uma causa frequente de deterioração da revestimento. as selagens com pré-revestimento (remendos e filler de fissuras) ajudam a atrasar ou evitar a ocorrência (e subsequente deterioração) de fissuras de reflexão, mas a possibilidade de ocorrência é alta e geralmente é melhor remover uma fissura do betão betuminoso e substituí-la totalmente conforme recomendado na Tabela 8-2. No entanto, pesquisas realizadas ao longo de muitos anos mostraram que algumas formas de controlo de fissuras de reflexão podem ser efectivas. Esses incluem:

i) Uso de materiais de pavimento
ii) Camadas de alívio de fissuras. Estes são geralmente compostos de agregados graúdos de graduação aberta com uma pequena percentagem de cimento asfáltico ou apenas uma camada granular forte e não ligada.
iii) Maior espessura de revestimento

O uso de materiais para pavimentos não é uma opção fácil e deve-se procurar assistência especializada antes de utilizá-los.

Camadas de alívio de fissuras são frequentemente recomendadas para casos graves de fissuras. No entanto, elas são efectivamente uma opção de reconstrução. Isso ocorre porque duas camadas completas precisam ser construídas (a camada de alívio de fissura e o revestimento de asfalto), e a camada de alívio de fissura precisa ter pelo menos 100 mm de espessura. As camadas de pavimento existentes oferecem mais suporte do que uma sub-base básica, mas provavelmente são muito variáveis nas propriedades. A remoção completa do revestimento antigo, o retrabalho da base existente e o desenho de um novo pavimento podem ser a opção menos dispendiosa.

7.8.4 drenagem subterrânea

A condição de drenagem subterrânea existente do pavimento deve ser avaliada, uma vez que tem uma grande influência na eficiência do pavimento em geral. A remoção do excesso de água da secção transversal do pavimento aumentará a resistência das camadas do pavimento e do leito e reduzirá as deflexões (*Manual de Dimensionamento de Drenagem e Manual de Dimensionamento de Pavimentos*).

7.8.5 Fresagem-Reciclagem

A fresagem da superfície existente pode melhorar o desempenho da cobertura, com ou sem a intenção de reciclar os materiais fresados. A fresagem remove o material

fissurado e endurecido e minimiza os rodeiras existentes ou outras distorções significativas. Também tem a vantagem de, devido ao nível reduzido de irregularidades, a necessidade de uma espessura de revestimento excessiva para removê-las é diminuída. O revestimento resultante ou qualquer camada de regulação pode então ser mais fino.

7.8.6 Reciclagem de pavimentos

A reciclagem de pavimentos existentes é agora uma opção realista, especialmente onde agregados de boa qualidade são escassos. O uso de materiais reciclados é descrito no *Manual de Dimensionamento de Pavimentos*.

7.8.7 Bermas

O revestimento de faixas de tráfego geralmente exige que os bermas sejam sobrepostos para coincidir com a linha de inclinação das faixas de tráfego. Ao seleccionar um material de revestimento e espessura para a berma, o projectista deve considerar até que ponto a berma existente se deteriorou e a quantidade de tráfego que usará a berma. Por exemplo, se os camiões tendem a estacionar na berma em determinados locais, isso deve ser considerado no projecto de revestimento da berma.

Se uma berma existente estiver em boas condições, quaisquer áreas deterioradas devem ser corrigidas. O revestimento pode então ser colocado para coincidir com o tipo de berma para as faixas de tráfego. Se uma berma existente estiver em condições tão precárias que não possa ser economizada, esta deve ser removida e substituída.

7.8.8 Reconstrução de pavimentos flexíveis

Se o pavimento for reconstruído com novos materiais, somente o leito do pavimento existente permanecerá. Assim, a reconstrução não difere do projecto de uma estrada inteiramente nova, conforme descrito no *Manual de Dimensionamento de Pavimentos*.

8

Dimensionamento do Revestimento e Reabilitação

8. Dimensionamento do Revestimento e Reabilitação

O presente capítulo discute as três principais abordagens para o dimensionamento de revestimento para fins de reabilitação e as etapas de dimensionamento usando cada abordagem.

8.1 Dimensionamento do Revestimento

O princípio de dimensionamento de revestimento é que, se a rotura do pavimento existente não estiver muito avançada, deve ser possível fortalecer a estrada para que ela possa transportar o tráfego por muitos mais anos. Se a deterioração estiver muito avançada, será necessária uma forma mais substancial de reabilitação.

Existem três métodos gerais de dimensionamento de revestimento da seguinte forma;

1. Uma abordagem empírica da resistência/espessura do pavimento usando o conceito AASHTO de Número Estrutural ou um método de dimensionamento de pavimento baseado empiricamente equivalente.
2. Uma abordagem analítica baseada na redução de tensões críticas estimadas para níveis seguros.
3. Uma abordagem de dispersão de carga empírica baseada apenas em deflexões elásticas. Esses métodos foram desenvolvidos por muitas agências e têm sido usados com relativo sucesso em alguns tipos de estradas há muitos anos.

Os dois primeiros métodos são essencialmente os mesmos que os métodos para projectar novas estradas e dependem do conhecimento da resistência do leito, a resistência das camadas do pavimento, suas espessuras e assim por diante. O elemento adicional para o projecto de reabilitação é simplesmente o método para determinar a "resistência residual" do pavimento existente que é necessário para determinar a resistência extra necessária. No entanto, uma quantidade considerável de informações adicionais está disponível para projectar a reabilitação que não está disponível ao projectar uma nova estrada. Isso geralmente compreende as deflexões elásticas da estrada existente, as intensidades da camada medidas usando o DCP e o conhecimento do desempenho da estrada até o momento.

O método 1 é recomendado porque atende tanto às características elásticas quanto às características de resistência de maneira combinada. O método 2 requer um longo período para calibrar os modelos.

8.1.1 Estimativa da deficiência estrutural

A etapa crítica é avaliação da resistência ou capacidade de transporte do pavimento existente. Em muitos casos, a resistência residual será muito baixa, porque a deterioração será muito avançada e a espessura de qualquer revestimento de reforço será excessiva. Nesta situação, é improvável que o revestimento seja a melhor opção. No entanto, desde que a deficiência estrutural não seja muito grande, é provável que orevestimento seja a melhor solução.

A estrutura necessária em cada encadeamento de medição do DCP (ou seja, onde a resistência do leito foi medida) foi determinada a partir da capacidade de transporte

necessária e da resistência do leito. A diferença entre esta e a capacidade estrutural existente é a deficiência estrutural. A deficiência estrutural deve ser interpretada para indicar três coisas, a saber:

i) Onde a estrada requer reconstrução de alguma forma.

ii) Onde o revestimento é a melhor solução.

iii) A espessura de revestimento necessária.

A capacidade estrutural da estrada existente é calculada usando uma combinação de medições DCP, uma abordagem de número estrutural e medições de deflexão.

O DCP é usado para determinar a espessura e a resistência de cada camada de pavimento, incluindo o leito, conforme descrito nos Apêndices A e B, e o número estrutural modificado real (SNCA) determinado para cada medição de DCP.

Os valores da SNCA são então plotados em relação aos valores de deflexão medidos no mesmo ponto, resultando em um gráfico semelhante à Figura 8 1, mas com menos dispersão (já que a estrutura da estrada geralmente será do mesmo tipo ao longo de todo o seu comprimento). Os valores de deflexão estão mais relacionados com a capacidade de tráfego e a protecção de leito do que os valores *SNC*. No entanto, o gráfico mostra que, em qualquer valor particular de deflexão, é provável que haja um intervalo de valores SNC_A. É o valor mais baixo da SNCA para uma deflexão específica que determina a resistência "efectiva" do pavimento ou do SNC_{eff}. Para determinar este valor para cada ponto de ensaio, uma curva deve ser ajustada aos dados que limitam os valores mais baixos da SNC_A, conforme mostrado na Figura 8-1. Desta forma, o valor SNC_{eff} pode ser determinado para cada ponto de ensaio. A deficiência estrutural em cada ponto de ensaio é então calculada como se segue;

Deficiência Estrutural = SNC_R - SNC_{eff}

Um exemplo do gráfico de deficiência estrutural ao longo de uma estrada é ilustrado na Figura 8-1.

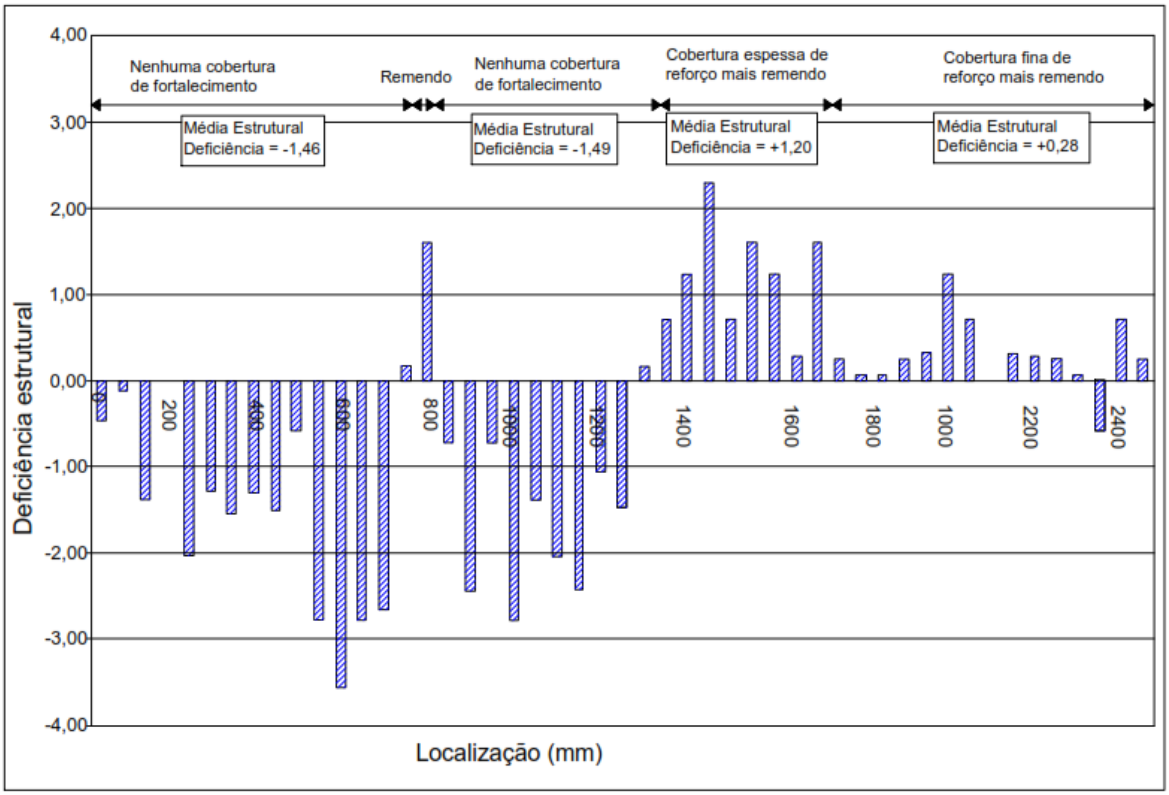


Figura 8-1 Gráfico de Deficiência Estrutural (Exemplo)

8.2 Desafios nos Métodos de Dimensionamento

O problema é que os três métodos raramente resultam na mesma solução de dimensionamento. Este facto não é surpreendente, porque os métodos de dimensionamento baseados empiricamente dependem das medidas da resistência das camadas do pavimento, enquanto os métodos baseados na deflexão dependem das propriedades elásticas das camadas. Infelizmente, as propriedades elásticas dos materiais do pavimento estão muito pouco correlacionadas com as propriedades de resistência. Isto é ilustrado na Figura 8-2 onde é mostrado um exemplo da relação entre os números estruturais de pavimentos existentes e suas deflexões máximas sob uma carga padrão (medida exactamente nas mesmas localizações que os valores *SNC* ou *SNP*). Preferivelmente, para qualquer tipo de pavimento específico, deve haver pouca dispersão e os pontos devem estar próximos a uma linha bem definida.

Apesar de sua aparente atracção, os métodos analíticos, , não resolvem o problema. Uma discussão de métodos analíticos é apresentada na Secção 8.6, mas é apropriado notar aqui que os métodos analíticos precisam ser calibrados contra evidências empíricas antes que possam ser usados de maneira confiável; Portanto, eles precisam ser calibrados contra uma ou outra das duas alternativas empíricas. Além disso, em todos os métodos analíticos em uso regular hoje, o módulo de elasticidade do leito (e normalmente outras camadas de pavimento também) é assumido como relacionado linearmente com a resistência da camada, normalmente medida pela CBR. Assim, o problema fundamental de que as propriedades elásticas e de resistência são pouco correlacionadas não é abordado.

Muito claramente, o projecto efectivo de reabilitação requer conhecimento tanto das propriedades elásticas (propagação de carga) quanto das propriedades de resistência

dos materiais, e ambos estão disponíveis através de deflexão, ensaios DCP e dados de ensaio de poço.

[Deve-se notar que, como resultado disso, a abordagem comum nos manuais de dimensionamento de reabilitação é recomendar que o projecto seja executado usando vários métodos separadamente e depois escolhendo a solução mais conservadora. Este não é o método recomendado neste manual].

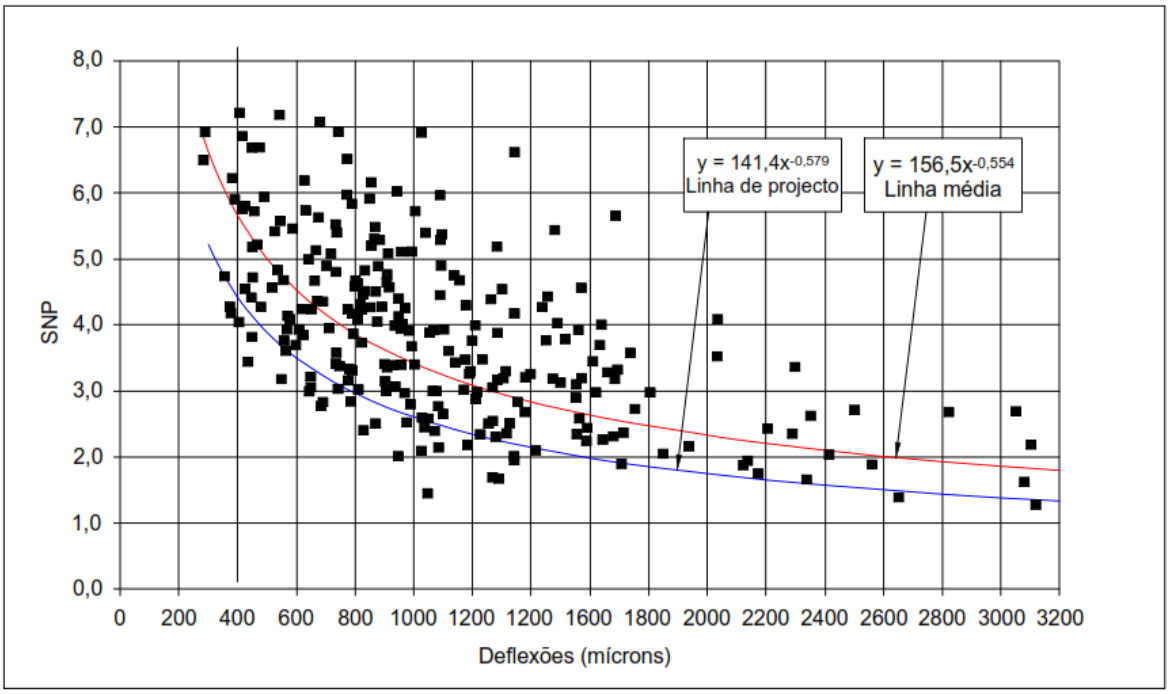


Figura 8-2 Relação entre SNP e Deflexão Central (exemplo)

8.3 Método de Dimensionamento Empírico

O processo de dimensionamento de reabilitação para cada secção uniforme da estrada é o seguinte;

1. Estimar o tráfego de projecto.
2. Determinar a estrutura de destino que transportará o tráfego de projecto.
3. Avaliar o pavimento existente para determinar a sua "resistência residual" e a deficiência entre este e a resistência necessária.
4. Calcular os requisitos de resistência.
5. Racionalizar as espessuras de dimensionamento.

8.3.1 Tráfego de dimensionamento

Este procedimento é idêntico ao método para dimensionar uma nova estrada e é descrito em detalhes no *Manual de Dimensionamento de Pavimentos*.

8.3.2 Estrutura Requerida

A segunda etapa é determinar uma estrutura de estrada que irá transportar o tráfego de projecto para o período de tempo necessário, geralmente 15 ou 20 anos. Este processo é idêntico ao desenho de uma nova estrada e deve ser feito usando o método

de dimensionamento descrito no Manual de Dimesnionamento de Pavimentos. Isso requer conhecimento da resistência do leito. Os valores in-situ terão sido medidos durante o levantamento detalhado de condição usando um DCP (Secção 6.2 e Apêndice B). Valores equivalentes de CBR em laboratório também estarão disponíveis para algumas das cadeias dos dados do poço de ensaio (Apêndice F). Esses poços de ensaio deveriam ter sido escavados exactamente nos mesmos locais em que algumas das medições do DCP foram feitas, de modo que os CBRs do leito sejam directamente comparáveis. A densidade *in situ* do leito deve ser medida em cada fosso de ensaio, e uma amostra do leito tomada para determinação laboratorial do CBR embebido na densidade de campo. Estes dados podem então ser usados para estimar o valor de CBR embebido equivalente em cada medição de DCP.

O número estrutural necessário (SNR) e o número estrutural modificado necessário (SNCR) devem ser calculados para cada cadeia de ensaio DCP, conforme indicado na Secção 5.2 e descrito em detalhes no Apêndice A. O valor real é dependente do tipo de estrutura que é ser construído. Se não for necessário o fortalecimento da base de estrada, um revestimento betuminoso exigirá os desenhos nos gráficos C ou D, dependendo do tipo de base de estrada presente. Se a base de estrada deve ser reresistênciada, dependendo se ela deve ser estabilizada com cimento, cal ou betume, os gráficos C ou D também são necessários. Os números estruturais e os números estruturais modificados necessários para cada resistência, nível de tráfego e tipo estrutural do leito estão resumidos no Apêndice A.

Se o pavimento exigir reconstrução completa, o leito será reprocessado e os métodos descritos no manual de dimensionamento para novas estradas devem ser seguidos.

8.3.3 Espessura do revestimento

A espessura necessária do revestimento é calculada com precisão, ponto a ponto, da seguinte maneira;

$$\text{Espessura de cobertura no ponto de ensaio (mm)} = 25{,}4 * (SNCR - SNC_{eff}) / a_1$$

Onde a_1 é o coeficiente de resistência para o asfalto excessivamente (geralmente 0.35 - veja o Apêndice A). Um exemplo das espessuras de revsetimento ponto-a-ponto é mostrado na Figura 8-3.

Agora é necessário reexaminar se a selecção existente de secções uniformes pode ser melhorada. O exemplo da Figura 8-1 e da Figura 8-3 ilustra quatro áreas bem definidas.

A espessura de revestimento a ser usada para cada secção de estrada uniforme é obtida seleccionando o percentil apropriado da distribuição de espessura, dependendo da confiabilidade desejada.

Ajustes para este cálculo são necessários do ponto de vista estatístico para assegurar que um nível apropriado de confiabilidade seja usado. Em particular, áreas fracas que parecem precisar de uma cobertura muito espessa devem ser corrigidas antes que a cobertura seja aplicada. Se o remendo for feito correctamente, eles devem ser fortes o suficiente para exigir pouco ou nenhum reforço adicional. Essas áreas devem ser excluídas do cálculo dos percentis de espessura de revestimento.

Inversamente, a deficiência estrutural de algumas áreas da secção "uniforme" do pavimento pode ser negativa, indicando que, aparentemente, elas não requerem reforço adicional. Embora essas áreas sejam actualmente fortes, a durabilidade do

revestimento, como resultado do envelhecimento, provavelmente será tão baixa quanto a do restante do pavimento. Daí um revestimento ou outro tratamento de superfície também é necessário nessas áreas. Se as secções que não requerem reforço forem relativamente pequenas e distribuídas aleatoriamente, de forma que a alteração da espessura do revestimento não seja praticável (esse será o caso se as secções "uniformes" tiverem sido seleccionadas correctamente), essas áreas também deverão ser excluídas do cálculo de percentis de espessura do revestimento.

Assim, ao excluir essas áreas no cálculo dos percentis de espessura de revestimento, a confiabilidade real do pavimento reabilitado será ligeiramente maior do que a determinada nos cálculos, porque essas áreas serão mais fortes. Isso fornece um pequeno factor de segurança adicional.

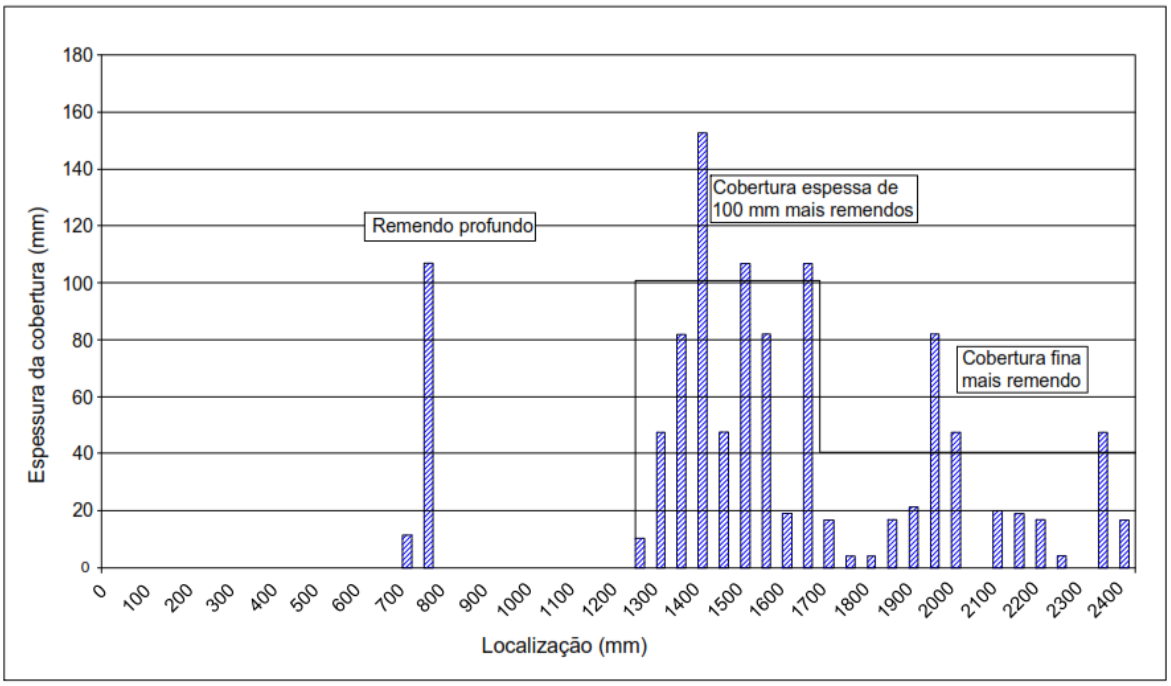


Figura 8-3 Espessura do Revestimento

As secções "uniformes" recém-definidas são analisadas separadamente para determinar a espessura de revestimento apropriada. Para cada um, uma distribuição cumulativa da espessura do revestimento é plotada e o percentil apropriado é seleccionado. A Tabela 8-1 mostra os percentis a serem usados para cada classe de estrada. A classe de tráfego representa aquela computarizada no momento da elaboração do projecto de reabilitação e não no momento em que a estrada foi construída pela primeira vez. A Figura 8-4 ilustra uma distribuição de frequência cumulativa típica para determinar a espessura do revestimento para diferentes percentis de confiabilidade.

Tabela 8-1 Valores dos Factores de fiabilidade de Revestimento

Classe de Estradas	Tráfego	Percentil para Projecto
T10	>50	98
T9	30-50	98
T8	17-30	95
T7	10,0-17	90
T6	6,0-10,0	85
T5	3,0-6,0	85
T4	1,5-3,0	80
T3	0,7-1,5	80

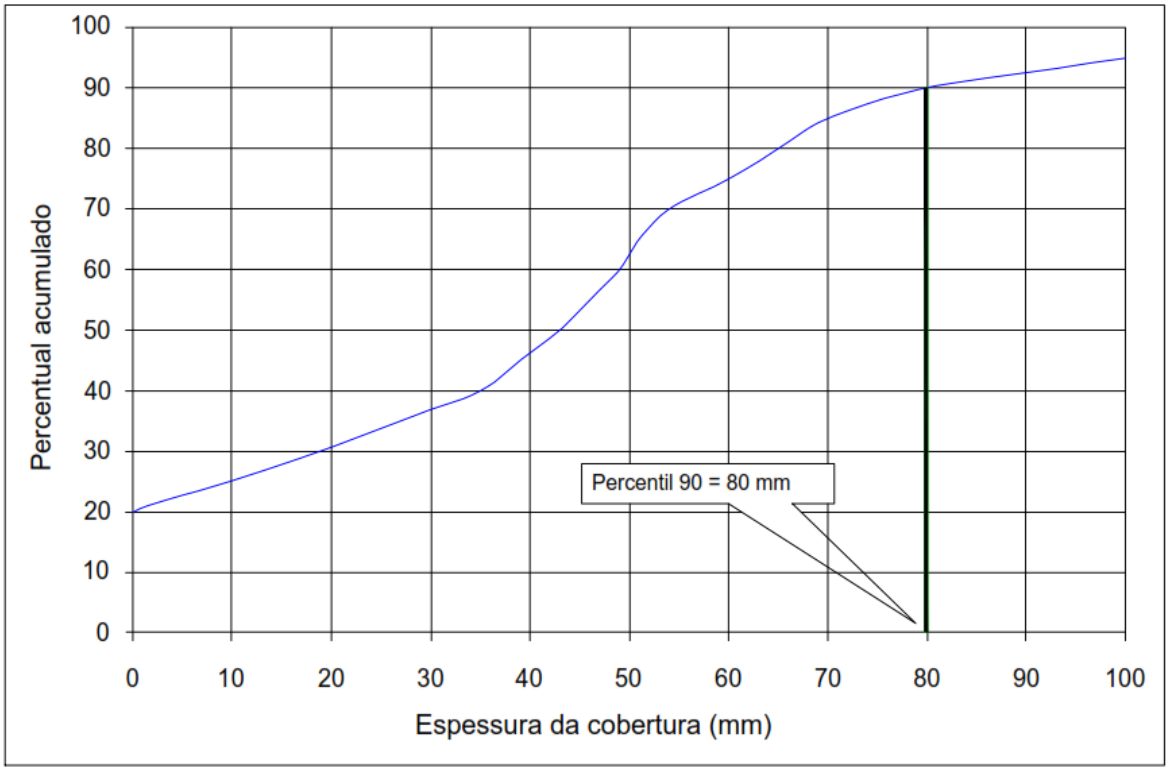


Figura 8-4 Distribuição de Frequência de Espessuras de Revestimento

Se a deficiência estrutural for próxima de zero e predominantemente negativa, a estrada pode exibir apenas um perfil fraco (isto é, alto valor de IRI) como resultado de defeitos de superfície e requerer apenas uma cobertura fina para melhorar a qualidade de condução e fornecer uma nova superfície durável. A espessura mínima de camadas finas é determinada pela classificação agregada do material de revestimento. Quando a mistura tiver um tamanho máximo de pedra de 25 mm, o revestimento deverá ter 65 mm de espessura. Onde o tamanho máximo da pedra é 19mm, o material pode ser colocado com uma espessura mínima de 47 mm.

Em geral, se a deficiência estrutural média situa-se no intervalo entre 0 e 0,6, também é necessária um revestimento fino. Se a deficiência estrutural média se situar entre 0,6 e 2,5, é necessário um revestimento espesso. A necessidade de reconstrução parcial ou total é menos fácil de definir, mas é altamente provável se a magnitude da deficiência estrutural for maior que 2,5. Sob tais circunstâncias, os dados da condição visual, DCP e dados do poço de ensaio precisam ser reavaliados. Apenas do ponto de vista do dimensionamento, a reconstrução total é relativamente simples. A Tabela 8-2 resume essas recomendações.

O julgamento da engenharia se torna muito mais importante quando a reconstrução parcial é indicada. Em geral, as estradas com boas fundações podem ser parcialmente reconstruídas, fazendo uso de grande parte do material existente na forma de sub-base aprimorada ou até mesmo camadas inferiores da base. Com a adição de um agente estabilizante, a reabilitação da resistência total da estrada é facilmente alcançável. As estradas que têm uma base muito fraca requerem trabalhos de reparação mais elaborados e a reconstrução total é frequentemente necessária.

A reciclagem de qualquer material de pavimentação à base de asfalto também pode ser considerada em uma opção de reconstrução completa. O projecto de estradas que requerem reconstrução deve ser feito de acordo com as recomendações de projecto estabelecidas no *Manual de Dimensionamento de Pavimentos*.

Tabela 8-2 Critério de Deficiência Estrutural

Deficiência Estrutural Média	Intervenção	Notas
Zero ou negativo	Manter com um tratamento de pavimento (por exemplo, um revestimento de pavimento)	Uma camada fina pode ser usada para corrigir outros defeitos
0,0 - 0,6	Camada fina	Trabalhos correctivos possíveis
0,6 – 2,5	Cobertura de camada grossa (45-180 mm)	Trabalhos correctivos possíveis
> 2,5	Reconstrução parcial provável Cobertura de design grosso (45-180 mm)	

8.3.4 Racionalização da espessura de projecto

A etapa final é considerar a capacidade de construção e eliminar mudanças muito frequentes no tipo de reabilitação. Todas as secções uniformes definidas para cobertura devem ser o maior tempo possível comensuradas com a classe da estrada. As mudanças de espessura devem ser muito graduais para evitar contribuir para rugosidades ou ondulações de comprimento de onda longas, que são muito desconfortáveis em estradas de alta velocidade. As especificações de irregularidade são aplicáveis.

8.4 Utilização do Método Empríco com Dados Parciais

Muitas vezes, surge uma situação quando algumas das informações necessárias para uma análise abrangente, conforme descrito acima, não estão disponíveis. Embora tal situação seja lamentável e leve a um dimensionamento menos preciso, às vezes é inevitável. Esta secção descreve abordagens projectadas para lidar com esse problema. Existem quatro situações possíveis.

8.4.1 Conjunto de dados completos.

Esta é a situação ideal em que existe um conjunto "completo" de dados, a saber:

(i) Dados do DCP

(ii) Dados de deflexão nos mesmos pontos que os DCPs

(iii) Dados de condição de superfície (incluindo dados específicos nos pontos de ensaio) e

(iv) Dados do poço de ensaio

Essa é a situação descrita na Secção 8.3 acima.

8.4.2 Ambos dados de deflexão e DCP estão disponíveis, mas eles não correspondem aos mesmos locais

Esta é uma situação bastante comum. O melhor que pode ser feito é usar o valor de deflexão mais próximo para cada um dos locais onde as medições do DCP foram feitas. Geralmente, haverá um que seja o mais próximo ou dois que estejam a uma distância semelhante. No último caso, o julgamento de engenharia ou uma média simples precisa ser usada. O resultado desse problema é maior dispersão nos dados e, portanto, maiores valores de espessura de revestimento para obter a mesma confiabilidade.

8.4.3 Apenas dados do DCP; Os dados de deflexão não estão disponíveis.

Nessas situações, a diferença mais importante é que a quantidade de dados disponíveis provavelmente é muito menor do que a desejada. Isso ocorre porque os ensaios DCP consomem muito mais tempo do que os ensaios de deflexão e, portanto, é provável que existam relativamente poucos deles. A ausência de ensaios de deflexão também significa que a confiança deve ser colocada em outras maneiras de estimar o SNC_{eff} a partir dos valores *SNC* medidos pelo DCP.

A quantidade reduzida de dados significa que haverá muito menos oportunidade de reduzir a variabilidade que deve ser satisfeita nos projectos, definindo secções uniformes. Por sua vez, isso significa que os projectos provavelmente serão mais dispendiosos.

Supõe-se que uma figura como a Figura 8-1 esteja disponível em estudos anteriores de avaliação de estradas na região no mesmo tipo de estrada, de modo que uma estimativa do factor C_f em cada valor de deflexão também esteja disponível, embora não seja específica do projecto. O factor C_f é definido como:

$$C_f = SNC_{eff}/SNC_{mean}$$

Os números estruturais efectivos para o dimensionamento de reabilitação devem ser obtidos reduzindo os valores medidos directamente (por DCP) em uma quantidade

similar às reduções médias em cada valor de deflexão ilustrado na versão local apropriada. Figura 8-1.

O factor C_f é bastante importante e surge a questão de saber se ele é realmente maior do que o estimado a partir da relação SNC /d_0. Durante o desenvolvimento do processo de dimensionamento, descobriu-se que C_f dependia de d_0. No exemplo mostrado na Figura 8-1, C_f diminui à medida que d_0 aumenta de cerca de 0,8 a uma deflexão de 400 mícrons até 0,7 em uma deflexão de 2000 mícrons.

Quando um conjunto de dados completo está disponível, os valores de SNC_{eff} obtidos a partir dos valores de deflexão são muito melhores do que aqueles obtidos calculando-os a partir de um *SNC* medido por DCP multiplicando por C_f. Isso porque, no gráfico SNC/d_0, há um intervalo de valores de *SNCs* para cada valor de deflexão. Em cada valor de deflexão, todos esses valores SNC serão reduzidos para o mesmo valor efectivo (ou seja, aquele relativo àquele valor de d_0). Isso é o que é necessário. No entanto, se os valores de deflexão não estiverem disponíveis e todos os *SNCs* em um determinado valor de deflexão forem multiplicados pela média C_f, o valor correto de SNC_{eff} para dimensionamento será o valor médio assim calculado, não o limite inferior. O resultado deste problema é provavelmente um pequeno erro sistemático, porque uma versão específica do projecto da Figura 8-1 não está disponível.

8.4.4 Dados de deflexão estão disponíveis, mas não há dados do DCP

Esta situação é similar àquela descrita em 8.4.3 acima, em que o uso deve ser feito de uma relação SNC/d_0 obtida de outro lugar. O principal problema surge porque a resistência do leito não é conhecida. Pode-se argumentar que isso pode ser estimado a partir de uma análise retrospectiva dos dados sobre a DC, mas a experiência mostra que isso é muito mais difícil de ser feito com precisão suficiente. No entanto, os módulos de leito recalculados dos ensaios FWD darão uma excelente indicação da variabilidade; identificará as áreas mais fracas e mais fortes e ajudará a definir secções uniformes da estrada.

Uma estimativa da resistência do leito para projectar o novo pavimento deve ser feita usando os métodos descritos no *Manual de Dimensionamento de Pavimentos*, e usando o conselho para estimar os 10% mais baixos da resistência do leito para diferentes tipos de solo. Dados de ensaio de poço ajudam enormemente. As outras etapas da análise são as mesmas. Na medida em que a resistência do leito de projecto provavelmente irá errar do lado da segurança, os projectos resultantes serão mais conservadores do que aqueles que seriam obtidos se os dados do DCP também estivessem disponíveis.

8.5 Método de Deflexão

A deflexão máxima é usada por um número de autoridades rodoviárias para estimar a capacidade de carga de uma estrada. Este é um método mais simples que o método descrito acima. Esse método funciona principalmente nas seguintes situações:

1. Onde o pavimento está a roturar porque é muito fino para os níveis de tráfego actuais, conforme descrito na secção 7.2,
2. Onde as camadas individuais do pavimento não estão a roturar,

No processo de diagnóstico para determinar a causa da rotura, esse tipo de rotura é caracterizado por uma relação razoável entre a deflexão e a profundidade da rota, conforme mostrado na Figura 8-5.

A curva de critérios de deflexão ilustrada na Figura 8-6 (isto é, a relação geral entre a deflexão e a capacidade de transporte do tráfego) não é directamente aplicável aos pavimentos rodoviários em Moçambique. No entanto, é claro que uma cobertura reduz as tensões nas camadas inferiores do pavimento e, portanto, para evitar a deformação nestas camadas e no leito, podem ser desenvolvidos critérios de deflexão apropriados como se segue.

Se 15 mm de rodeira é definido como o critério de rotura, então a deflexão associada a este nível de rodeira num nível de confiança de 90% (ou seja, um baixo risco de rotura inicial) pode ser lida na Figura 8-5. Como o tráfego também é conhecido, isso fornece um ponto de calibração para uma versão revista da Figura 8-6. Assume-se que a relação entre deflexão e capacidade de tráfego é sempre do mesmo tipo que na Figura 8-6 e é da mesma inclinação (isto é, paralela à relação geral existente). A Figura 8-7 ilustra o processo e mostra a relação revista entre a deflexão e a capacidade de transporte de tráfego.

O processo de dimensionamento a reabilitação para cada secção uniforme da estrada é o seguinte:

1. Medir e corrigir as deflexões de temperatura.
2. Plotar o gráfico de desempenho e calcular as deflexões representativas.
3. Estimar a capacidade de tráfego do pavimento existente.
4. Calcular a espessura de revestimento necessária.

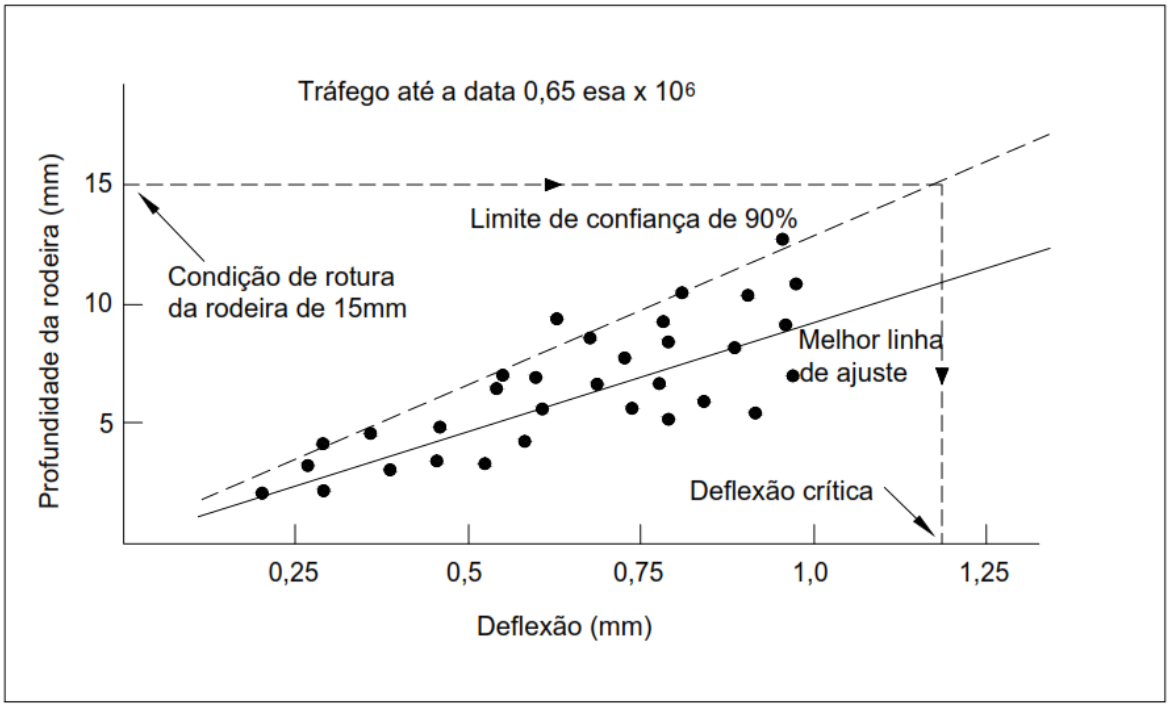


Figura 8-5 Profundidade da rodeira/deflexão da rotina

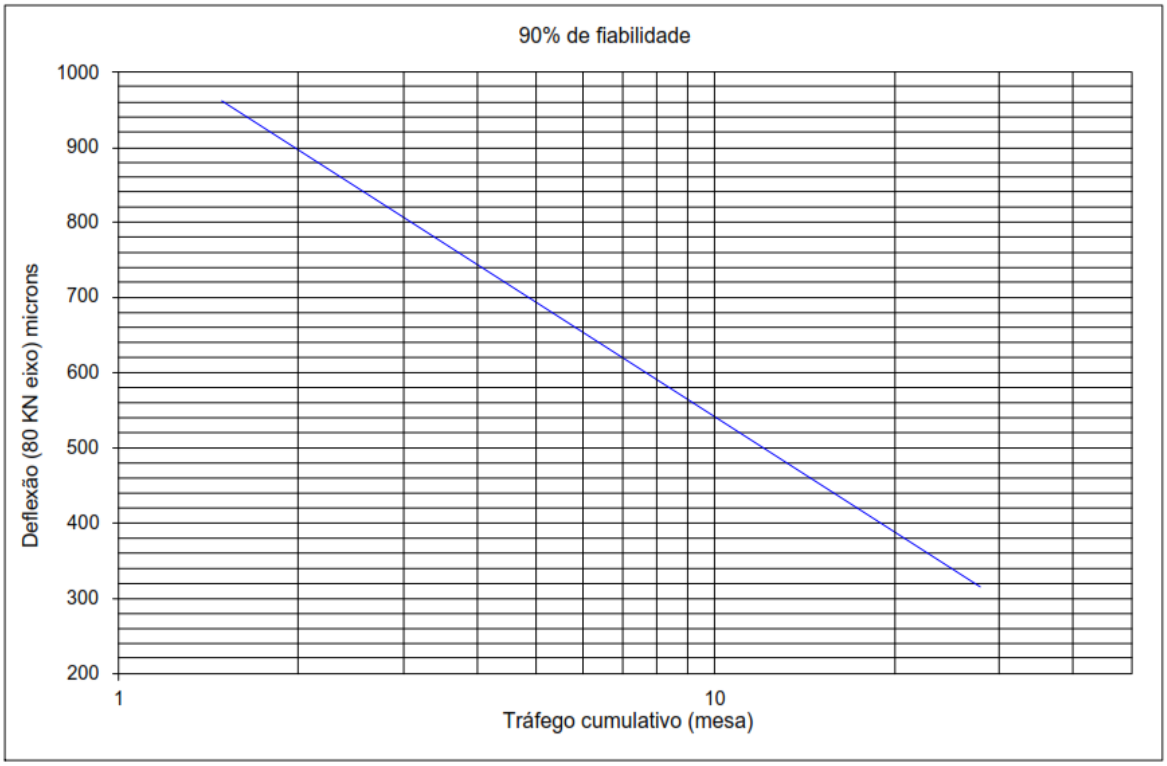


Figura 8-6 Deflexão Padrão e Capacidade de Transporte de Tráfego (Exemplo)

8.5.1 Medição e Correcção de Deflexões

As deflexões podem ser medidas com um viga de deflexão FWD ou Benkelman. As condições de carregamento e medição devem ser padronizadas para todas essas pesquisas para simplificar a análise e as comparações. Para o FWD, uma carga aplicada de 50 kN em uma placa de carregamento de raio 0,15 m é comummente usada. Para um levantamento com viga benkelman, é utilizada uma carga por eixo de 62,3 kN ou 80 kN. As medições devem ser feitas nas duas trajectórias das rodas da faixa lenta em vias duplas e em ambas as faixas de uma estrada de duas faixas. A seguinte estratégia é recomendada.

i) Os ensaios são realizados em um padrão básico de espaçamento de 50 ou 100 metros.

ii) Ensaios adicionais devem ser realizados em quaisquer áreas que apresentem depressão superficial

iii) Quando um valor de deflexão indica a necessidade de um revestimento significativamente mais espessa do que a necessária para a secção adjacente, a extensão exacta da estrada envolvida deve ser determinada por ensaios adicionais.

Após todas as medições terem sido feitas, elas devem ser corrigidas para qualquer efeito de temperatura. Isso ocorre porque a rigidez do asfalto depende da temperatura. A temperatura da superfície betuminosa é registada quando a medição da deflexão é efectuada, permitindo assim que o valor da deflexão seja corrigido para uma temperatura padrão. Recomenda-se que 30ºC ou 35ºC, medidos a uma profundidade de 40 mm na superfície, seja uma temperatura padrão adequada para estradas em climas tropicais.

A relação entre temperatura e deflexão para um determinado pavimento é obtida estudando-se a mudança na deflexão em vários pontos de ensaio à medida que a temperatura aumenta do início da manhã até o meio-dia. Não é possível produzir curvas gerais de correcção para cobrir todas as estradas, por isso é necessário estabelecer a relação de deflexão/temperatura para cada projecto. Felizmente, muitas vezes é constatado que pouca ou nenhuma correcção é necessária quando a superfície da estrada é velha e envelhecida ou relativamente fina.

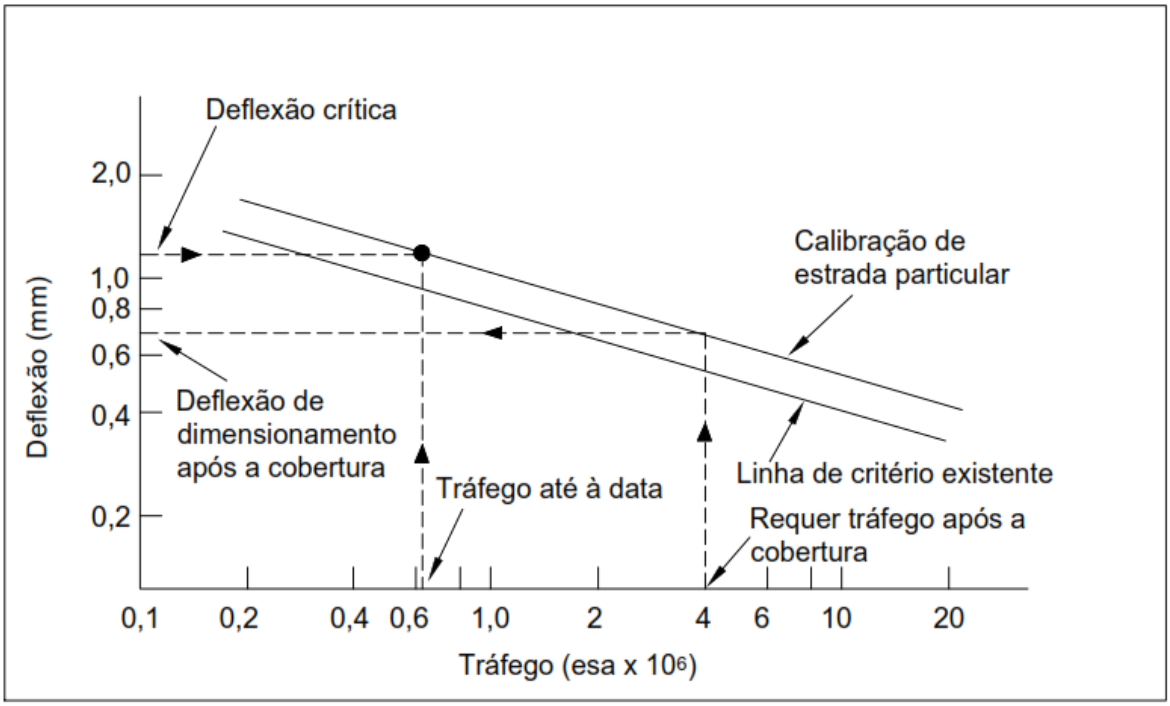


Figura 8-7 Calibração do Critério de ciclo de vida da Deflexão

8.5.2 Gráfico de Desempenho

Um gráfico de desempenho deve ser plotado do perfil de deflexão da estrada para cada pista, usando a deflexão maior de cada trajectória das rodas em cada local. Quaisquer áreas que apresentem deflexões excepcionalmente altas que possam necessitar de reconstrução ou tratamento especial podem ser facilmente identificadas. O perfil de deflexão é então usado para dividir a estrada em secções homogêneas, de modo a minimizar a variação nas deflexões dentro de cada secção. O comprimento mínimo destas secções deve ser compatível com a frequência dos ajustes de espessura que podem ser feitos de forma sensata pela máquina de pavimentação, mantendo os níveis satisfatórios. Ao seleccionar as secções, a topografia, o tipo de leito, a construção do pavimento e o histórico de manutenção devem ser considerados.

A etapa final do procedimento é calcular a deflexão representativa para cada secção homogênea da estrada. O método proposto tende a separar as áreas de deflexões muito altas que garantem tratamento especial ou reconstrução e, portanto, a distribuição das medidas de deflexão restantes se aproximará de uma distribuição normal. A deflexão representativa, que é o valor do 90º percentil, pode então ser calculada da seguinte forma:

Deflexão representativa = média + 1.3 x desvio padrão

8.5.3 Capacidade de tráfego

A capacidade de tráfego da estrada, quando se trata de rodeiras, pode ser estimada comparando-se a deflexão representativa de secções homogêneas com a curva de critérios de deflexão calibrada, conforme mostrado na Figura 8-7. A capacidade de tráfego representa a carga total de tráfego que a estrada levar depois da construção. Portanto, a capacidade futura de tráfego é a carga total de tráfego menos a carga de tráfego que o pavimento transportou antes da avaliação.

8.5.4 Cálculo da espessura do revestimento

A espessura de qualquer revestimento de reforço necessária pode ser determinada com base na redução da deflexão representativa do pavimento para a deflexão de projecto obtida a partir da curva de deflexão calibrada. A relação entre a espessura de uma camada betuminosa densa e a redução da deformação, sob uma carga por eixo de 62,3 kN, é;

$$T = \frac{0{,}036 + 0{,}818\, D_r - D_d}{0{,}0027 D_r}$$

onde D_d = Deflexão de projecto (mm)

D_r = Deflexão representativa (mm)

T = Espessura de cobertura (mm)

Essa relação é válida entre valores de deflexão representativos de 0,25 a 1,2 mm e espessuras de revestimento de 40 a 150 mm.

Se as deformações forem medidas usando uma carga de eixo diferente, os resultados devem ser escalonados directamente para fornecer o valor equivalente abaixo do eixo de 62,3 kN.

8.6 Método Mecanístico/Analítico

Este método requer uma calibração de longo prazo especificamente para Moçambique e para diferentes estruturas de pavimento.

A capacidade de transporte de tráfego de um pavimento de asfalto é governada pela eficácia das camadas de pavimento na prevenção;

1. Fissuração por fadiga do revestimento asfáltico.
2. Rotura por corte dos materiais granulares.
3. Fissuração ou trituração por fadiga de materiais levemente cimentados e
4. Interrupção da via resultante da rotura do leito.

Modelos teóricos para prever o comportamento de materiais granulares e levemente cimentados sob a acção do tráfego não são bem definidos e, portanto, as especificações para tais camadas sempre foram definidas de tal forma que as roturas são improváveis. Isso mitigou os possíveis riscos no uso de materiais de menor qualidade e, teoricamente, restringiu a faixa de prováveis modos de rotura.

O desempenho dos pavimentos de estradas tem sido tradicionalmente dependente dos valores de tensão/deformação em dois locais na estrutura. Assim, a tensão de tracção

horizontal na parte inferior da camada de asfalto controla um tipo de fissura por fadiga e a deformação vertical na parte superior do leito controla a rodeira.

Para estradas com um revestimento betuminoso fino, a capacidade de transporte de tráfego é determinada apenas pela resistência a rodeira. O desempenho da camada de selagem geralmente dependerá dos efeitos ambientais, e não apenas das cargas de tráfego.

A capacidade de transporte de tráfego de uma estrada de asfalto será determinada pela sua resistência à fissura por fadiga e a rodeira da via. No entanto, a pesquisa mostrou que a forma predominante de aflição superficial de superfícies de asfalto em climas tropicais não é afissuração por fadiga começando no fundo da camada de asfalto, mas a fissuração "decrescente" que inicia na superfície da camada (Rolt et al., 1986) (Smith et al, 1990). O tipo e a severidade dessa forma de fissuração é uma função complexa das propriedades do material e das tensões ambientais e de tráfego, e seu desenvolvimento ainda não foi descrito com sucesso por meio de um modelo analítico prático. No entanto, tal fissuração afecta apenas a superfície (se tratada precocemente) e, portanto, é necessária uma substituição directa da superfície fissurada (Tabela 8-2). Nas estradas principais, uma operação de fresagem é geralmente a melhor opção, desde que as fissuras não penetrem em toda a camada de asfalto.

Fissuras de cima para baixo geralmente se desenvolvem muito antes de outros tipos de fissuras e, portanto, o desempenho de estradas de asfalto raramente coincide com os modelos analíticos. No entanto, é importante que o dimensionamento de reabilitação leve em conta todos os possíveis modos de rotura futura e, portanto, é importante assegurar que a rotura de fadiga tradicional da superfície e rotura por dimensionamento inadequado do leito não ocorra dentro da vida útil projectada. Para fazer isso, procedimentos analíticos adequadamente calibrados para as condições locais fornecem um método adequado.

o método analítico requer um modelo matemático adequado para descrever o pavimento. Quase todos os métodos usam o modelo elástico linear de multicamadas. Este modelo requer, como entrada, a espessura, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson de cada camada do pavimento. Os módulos de revestimento de asfalto podem ser calculados com base nos constituintes da mistura e propriedades de aglutinante na temperatura de projecto ou medições direitas em laboratório do módulo feito em amostras de material extraído da estrada. Os módulos de outras camadas podem ser estimados a partir de ensaios de DCP ou de ensaios de laboratório em materiais extraídos de poços de ensaio. No entanto, esses métodos não são directos e é necessário um considerável julgamento de engenharia.

O método mais provável de ser usado para determinar o módulo de elasticidade efectivo de cada camada de pavimento é a análise reversa das taças de deflexão do FWD. Os FWDs são fornecidos com modelos de computador para este fim e são usados para estimar os módulos elásticos de todas as camadas do pavimento. Camadas muito finas, como um revestimento existente, são normalmente incorporadas à base de estrada subjacente ou ignoradas.

Os programas de computador fornecidos com a maioria dos FWDs também podem ser usados para calcular as tensões ou deformações nos pontos críticos no pavimento sob a aplicação de uma carga padrão projectada para replicar uma carga de roda de 40kN (carga de eixo de 80 kN). Estas cepas são então usadas para calcular a "vida" da estrutura usando relações entre tensão/deformação e vida útil do pavimento.

O critério de fadiga do asfalto desenvolvido na Austrália é recomendado porque é baseado num programa de pesquisa em evolução e é, portanto, baseado nos melhores dados disponíveis. Além disso, as condições climáticas na Austrália são adequadamente tropicais.

A lei de fadiga para o asfalto é;

$$N = \left[\frac{6.918 * (0{,}856 * V_b + 1{,}08)}{\mu\varepsilon * S_{mix}^{0{,}36}}\right]^5$$

onde: V_b = proporção de betume por volume na mistura em%

S_{mix} = módulo de elasticidade da mistura em MN / m2.

$\mu\varepsilon$ = microtratamento horizontal no asfalto

N = número de repetições de tensão para rotura.

O uso desta equação requer conhecimento do módulo elástico do Betão betuminoso e do volume de betume que ele contém. Além disso, a "vida" prevista do asfalto é extremamente sensível ao valor de ambos os factores e ambos são suficientemente variáveis para garantir que previsões precisas de "vida" sejam extremamente difíceis de fazer, daí a necessidade de calibração local. Alternativamente, suposições podem ser feitas para garantir um factor de segurança suficiente.

Apesar da aparente sofisticação de tais métodos, há vários problemas. Por exemplo, mostrou-se bastante difícil desenvolver critérios de deformação de leito para diferentes leitos. O leito no Teste de Estrada da AASHO foi muito fraco e o critério desenvolvido é muito conservador. A maioria dos leitos é mais forte e menos propenso a roturas, e pesquisas recentes mostraram que o intervalo de critérios de leito pode cobrir três ordens de grandeza em termos de tráfego. Apesar disso, o critério padrão na maioria dos métodos analíticos é o mesmo para todos os leito e isso geralmente é baseado no critério original desenvolvido a partir do Ensaio de Estrada da AASHO. Os critérios recomendados para Moçambique são, no entanto, baseados em pesquisas mais recentes (Janoo, V e E R Cortez (2003) e são os seguintes:

Leito Forte (Classe S6):

$$N = \left(\frac{15.000}{\mu\epsilon}\right)^{7{,}5}$$

Leito de resistência média (Classes S3, S4, S5):

$$N = \left(\frac{6.000}{\mu\epsilon}\right)^{7{,}5}$$

E leitos fracos (Classe S2)

$$N = \left(\frac{3.400}{\mu\varepsilon}\right)^{7{,}5}$$

São incluídos procedimentos de calibração adequados em alguns dos programas fornecidos com FWDs para que, após o ajuste do modelo do pavimento, possam ser usados com mais confiança para estimar a capacidade futura de tráfego de uma estrada reforçada e determinar a espessura do revestimento, quando necessário. No entanto, o

usuário de tais programas deve estar ciente de que eles são baseados em suposições e modelos simplificados que às vezes podem levar a conclusões erróneas, portanto, métodos alternativos de projectar espessuras de revestimento devem sempre ser usados em paralelo.

Mais detalhes do método mecanicista e um exemplo de seu uso são mencionados no Manual de Dimensionamento de Pavimentos.

9

Selecção de Alternativa Preferencial

9. Selecção de Alternativa Preferencial

O presente capítulo fornece orientação sobre os problemas que afectam a selecção final da opção de reabilitação no nível do projecto. Esses problemas são:

- uso de modelos de apoio à decisão,
- considerações de engenharia,
- custos de toda a vida útil,
- outros factores, como a utilização de mão-de-obra local, questões ambientais e de saúde, e
- duração das opções pretendidas.

9.1 Sistemas de Apoio à Decisão

Normalmente, os projectos são seleccionados com base nos custos de agência da vida inteira ou, de preferência, no custo total da vida (incluindo custos de usuário da estrada e quaisquer custos sociais adicionais) em um nível de rede e depois comparando várias soluções de projecto no nível do dimensionamento. Ferramentas de planificação como o HDM-IV são usadas para essa finalidade. Para maior precisão, os modelos no HDM-IV precisam ser calibrados. Normalmente, a análise em nível de dimensionamento requer mais dados, antes que a saída seja mais precisa do que a análise em nível de rede.

Assim, uma avaliação inicial de custo de vida inteira de alternativas é possível (às vezes com dificuldade), mas há questões de nível de dimensionamento que precisam ser levadas em conta e geralmente requerem julgamento, e não cálculo.

9.2 Questões do Nível do Projecto

Os capítulos anteriores mostraram como determinar as causas da deterioração, determinar as opções apropriadas de reabilitação e projectá-las. Às vezes, do ponto de vista da engenharia, existe apenas uma opção. Isso geralmente só é verdadeiro se a estrada exigir reparos simples ou se o diagnóstico não identificar claramente os problemas com a estrada existente. O projectista pode perceber que existem riscos inaceitáveis, a menos que ele escolha uma opção conservadora para a reabilitação (por exemplo, reconstrução completa). Onde grandes obras são necessárias e embora as investigações sejam realizadas, há quase sempre várias alternativas. A escolha de alternativas é baseada em:

(i) Limitações na indústria contratante local, a fim de evitar o risco de propor uma solução que possa não ser construída adequadamente. Isto pode levar a uma tendência a propor apenas métodos experimentados e testados que podem estar longe de ser os mais rentáveis.

(ii) Também existem limitações na disponibilidade de materiais e equipamentos no país como um todo, muitas vezes restringindo severamente as opções disponíveis.

(iii) A solução óptima do ponto de vista económico (por exemplo, relação custo-benefício ou análise do custo total da vida) pode não ser atingível devido a restrições orçamentárias.

No entanto, o engenheiro projectista deve ser capaz de sugerir soluções candidatas a partir das opções tecnicamente viáveis descritas no Capítulo 8 e, com base nos factores e restrições acima, deve ser capaz de realizar os cálculos de custo de vida necessários para chegar a uma preferência solução.

9.3 Análise de Custo do ciclo de vida

9.3.1 Principais custos

Com ou sem o benefício de todo um modelo de custo de vida, o projectista precisa realizar uma análise de custo. Isso requer entradas de custo e desempenho na estrada. Ambos os elementos estão sujeitos a um grande grau de incerteza. Por exemplo, a vida efectiva de uma técnica de reabilitação está sujeita às seguintes influências:

1. Habilidade e cuidado com o qual o trabalho é realizado.
2. Qualidade dos materiais utilizados.
3. Condições ambientais predominantes na região onde o pavimento existe.
4. Tráfego.
5. Outros trabalhos de reabilitação e manutenção são realizados simultaneamente.

Para eliminar o máximo de incerteza possível, é essencial recolher dados de desempenho de reabilitação sempre que estiverem disponíveis (por exemplo, da Filial de PMS, Filial de Pesquisa).

Os principais custos a considerar na análise económica incluem:

9.3.1.3 Custos do Governo

1. Custos iniciais de reabilitação. Estes devem incluir os custos de preparação do pavimento (reparos, etc.) necessários antes da cobertura, se esta for a alternativa considerada na análise.
2. Custos futuros de reabilitação (após o período de projecto seleccionado para o projecto de reabilitação)
3. Custos de manutenção, recorrentes durante todo o período de projecto.
4. Retorno de salvamento ou valor residual no final do período de projecto.
5. Custos de engenharia e administrativos.
6. Custos de controlo de tráfego, se aplicável.

9.3.1.4 Custos do usuário

1. Tempo de percurso
2. Operação do veículo
3. Acidentes
4. Desconforto
5. Atraso de tempo e custos operacionais extras do veículo durante a repavimentação ou manutenção importante.

Existem diversos métodos de análise económica que são aplicáveis à avaliação de estratégias alternativas (geralmente estão disponíveis como saídas dos modelos disponíveis).

1. método equivalente de custo anual uniforme, muitas vezes denominado simplesmente o método de custo anual.
2. Método de valor presente para:
   - Custos
   - Benefícios
3. Benefícios menos custos, geralmente denominado o método do valor presente líquido.
4. Método de taxa de retorno.
5. Método da relação custo-benefício.
6. Método de custo-efectividade

O valor presente líquido ou o custo anual uniforme equivalente pode ser usado para determinar os custos do ciclo de vida para comparações de estratégias alternativas de reabilitação de pavimentos. Em ambos os casos, é essencial que as comparações sejam feitas somente para períodos de análise de igual duração. Detalhes das equações usadas nos métodos estão além do âmbito deste manual. Eles podem ser encontrados nos modelos de HDM desenvolvidos pelo Banco Mundial, mas agora administrado pela *HDMGlobal*.

9.3.2 Factores de desconto e outros problemas de "Política Central"

Há uma série de factores necessários na análise de custo de toda a vida que devem ser fornecidos pelo governo central para garantir que todos os projectos (pelo menos projectos de natureza similar) sejam comparados na mesma base. O factor de desconto, por exemplo, tem um efeito significativo na análise.

Para ilustrar isso, considere a vida útil de um tratamento de reabilitação ou manutenção. Este é sempre um factor importante e é particularmente significativo para as estradas de grande volume, para as quais o encerramento de faixas e os atrasos no tráfego representam dificuldades consideráveis sempre que a manutenção ou a reabilitação são necessárias. O princípio económico normal de descontar despesas e benefícios futuros significa que a importância dos benefícios de usar as opções de reabilitação de longa vida é consideravelmente reduzida. Métodos de custo de toda a vida aplicam um custo para questões como atrasos de tráfego causados por obras rodoviárias no futuro e, portanto, estes serão, aparentemente, devidamente contabilizados. No entanto, esses cálculos baseiam-se em um valor que pode ser atribuído ao "tempo" do usuário da estrada, e esse é sempre um problema controverso em países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Estes são apenas dois exemplos de factores necessários na análise que devem ser fornecidos pelo "governo". Outro exemplo diz respeito aos acidentes rodoviários e seus custos. O ponto é que a ligação próxima com o ramo de planificação é necessária para garantir que todos os dados de entrada sejam consistentes com os procedimentos de planificação do governo.

9.4 Opção de Reabilitação Preferencial

O resultado de um exercício de custeio de toda a vida é por vezes inconclusivo, na medida em que a diferença entre as estratégias de tratamento do candidato, ou talvez apenas duas delas, é muito pequena. O projectista deve estar ciente das incertezas em

alguns dos dados de entrada e nos modelos que estão sendo usados e ciente do tamanho da diferença entre duas opções de projecto que é estatisticamente significativa. Estudos de sensibilidade são sempre aconselhados a enfatizar essa questão e, em caso de dúvida, devem ser realizados. A experiência indica que, a menos que as diferenças excedam 5%, elas provavelmente não são significativas, portanto outras considerações se tornarão mais importantes.

Isso geralmente é feito aplicando-se factores de ponderação acordados aos factores que não estão incluídos em toda a análise de custo de vida. Tais factores podem incluir;

1. Preferência por construção que utiliza a maior parte da mão-de-obra local.
2. Preferência por usar as PMEs para desenvolver técnicos locais.
3. Rejeição do ruído do veículo gerado por outras opções de revestimentos (em comparação com asfalto).
4. Preocupações ambientais ou de saúde sobre o uso de misturas quentes em vez de misturas frias.
5. Considerações ambientais associadas à abertura de novas pedreiras e uma preferência pelo uso de materiais reciclados.
6. Duração e inconveniência do processo de construção.
7. Outras questões ambientais e sociais.

Se todo o método de custeio danálise de custo de vida que foi utilizado excluir os factores que geralmente são custeados em tal exercício, estes também devem ser incluídos nesta análise final. Em alguns modelos, por exemplo, os atrasos de tráfego em actividades futuras de manutenção não são contabilizados porque, a nível nacional, nenhum valor é atribuído aos custos de tempo, portanto, esse pode ser um factor "não monetário" importante.

A importância relativa de cada critério é atribuída pela equipa de projecto em consulta com a ANE. Em seguida, as alternativas são classificadas ou marcadas de acordo com o desempenho esperado em relação aos critérios. Em seguida, a classificação de cada alternativa em relação a cada critério é multiplicada pelo peso atribuído a esse factor para obter uma "pontuação". Finalmente, todas as pontuações para uma alternativa são somadas e a alternativa com a pontuação mais alta é a solução preferida.

10. Referências e Bibliografia

American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C., USA.

American Society for Testing and Materials (1996). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.03. Philadelphia, USA.

Asphalt Institute (1998). *Construction of hot-mix asphalt pavements*. Manual Series No. 22, (MS-22) Second Edition). The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, USA.

Asphalt Institute (1997). *Superpave Performance graded asphalt binder specification and testing. Superpave series No. 2 (SP-2).* The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, USA.

Asphalt Institute (1996). *Superpave Mix Design. Superpave series No. 1 (SP-1).* The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, USA.

Asphalt Institute (1994). *Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types.* Manual Series MS-2, Sixth Edition. Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, USA.

Asphalt Institute (1984). *Model construction specifications for asphalt concrete and other plant-mix types.* Specification Series No 1 (SS-1). The Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, USA.

Asphalt Institute (1983). *Specifications for paving and industrial asphalts.* Specification Series No. 2, (SS-2). College Park, Maryland (The Asphalt Institute).

Beaven, P J, R Robinson and K A Aklilu (1988). *The performance of experimental weathered basalt gravel roads in Mozambique.* RR147. TRL, Crowthorne, UK

The following British standards have been replaced with new designations to unify European standards. They are retained here for readers familiar with the old designations:

British Standards Institution, BS 1924 (1990). *Stabilised materials for civil engineering purposes***.** British Standards Institution, Milton Keynes, UK.

British Standards Institution, (1993). *Coated macadam for roads and other paved areas. BS 4987, Part 1. Specifications for constituent materials and for mixtures. Part 2 (1988) Transport, laying and compaction*. (British Standards Institution).

British Standards Institution (**1989**). *Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas. BS 598:Part 104 Methods of test for the determination of density and compaction.* (British Standards Institution).

British Standards Institution, (**1993**). *Determination of the indirect tensile stiffness modulus of bituminous mixtures.* (British Standards Institution).

British Standards Institution (**1995**). *Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas. Part III. Method for determination of resistance to permanent deformation of bituminous mixtures subject to unconfined uniaxial loading*. (British Standards Institution).

British Standards Institution (1985). *Testing aggregates; Sieve tests. British Standard, BS 812: Part 103.1:1985*. British Standards Institution, London.

10 Referências e Bibliografia

British Standards Institution (1989). *Testing aggregates; Method for sampling. British Standard, BS 812: Part 102:1989.* British Standards Institution, London.

British Standards Institution (1989). *Testing aggregates; Method for determination of the polished-stone value. British Standard, BS 812: Part 114:1989*. British Standards Institution, London.

British Standards Institution (1990). *Testing aggregates; Method for determination of aggregate crushing value (ACV). British Standard, BS 812: Part 110:1990*. British Standards Institution, London.

British Standards Institution (1990). *Testing aggregates; Method for determination of aggregate abrasion value (AAV). British Standard, BS 812: Part 113:1990*. British Standards Institution, London.

Chesher, A D, and H Harrison (1987). *Vehicle Operating Costs: Evidence from Developing Countries.* Highway Design and Maintenance Standards Series. John Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, USA.

Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (1995). *Laterite in road pavements, Special Publication 47*. CIRIA, London, UK.

Committee of Land Transport Officials (COLTO) (1996). *Structural Design of Flexible Pavements for Inter-urban and Rural Roads.* Technical Recommendations for Highways, TRH 4. Department of Transport, Pretoria, RSA.

Committee for State Road Authorities (1986). *Surfacing seals for rural and urban roads and compendium of design methods for surfacing seals used in the Republic of South Africa*. Technical Recommendations for Highways, TRH 7. Department of Transport, Pretoria, RSA.

Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) (1995). *Laterite in road pavements, Special Publication 47*. CIRIA, London, UK.

Dauzats, M and R Linder, (1982). *A method for the evaluation of the structural condition of pavements with thick bituminous road bases*. Proc. 5th Int. conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements. Delft, (University of Michigan and University of Delft, The Netherlands.

Department of Transport, (1994). *Skidding resistance. Design Manual for Roads and Bridges, Volume 7: Sect 3: Part 1: HD 28/94.* Department of Transport, UK.

FHWA-RD-01-113 (2002). *Back-calculation of layer parameters for LTPP test sections. Volume II: Layered elastic analysis for flexible and rigid pavements*. Federal Highway Authority, USA.

Hodges, J W, J Rolt and T E Jones (1975). *The Kenya Road Transport Cost Study: Research on Road Deterioration,* TRRL Laboratory Report 673, Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK.

Highways Agency (2001). Concrete pavement maintenance manual. Highways Agency, UK.

Hizam Harun and G Morosiuk (1995). A study of the performance of various bituminous surfacings for use on climbing lanes. Proceedings of the Eighth REAAA Conference, April 1995, Taipei.

Janoo, V and E R Cortez (2003). *Pavement subgrade performance study. Accelerated testing of A-2-4 subgrade soil at wetter than optimum moisture content*.

National Pooled Fund Study SPR-208. US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, USA.

Mayhew, H C and H M Harding (1987). *Thickness design of concrete roads*. Research Report 87. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory.

National Association of Australian State Road Authorities (1986). *Principles and practice of bituminous surfacing Vol. 1: Sprayed work*. (National Association of Australian State Road Authorities, Sydney).

Newill, D, and Kassaye Aklilu (1980). *The location and engineering properties of volcanic cinder gravels in Mozambique*. TRL RR. Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK.

Newill D, R Robinson and K Aklilu (1987*).* *Experimental use of cinder gravel on roads in Mozambique.* Proc 9th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Lagos, Nigeria. A A Balkema, Rotterdam.

Norwegian Public Roads Administration (1999). *A guide to the use of Otta Seals. Publication No. 93.* Directorate of Public Roads, Road Technology Department, International Division. Oslo, Norway.

Nunn M, A Brown, D Weston and J C Nichols (1997). *Design of long-life flexible pavements for heavy traffic.* Transport Research Laboratory. TRL Report 250. Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK

Paterson, W.D.O. (1987) '*Road deterioration and maintenance effects: models for planning and management*', *The Highway Design and Maintenance Standards Series*, Washington DC: the World Bank.

Rolt, J and C C Parkman (2000). *Characteristics of Pavement Strength in HDM-III and Changes Adopted for HDM-4*. Proceedings of 10th International Conference of the Road Engineering Association of Asia and Australasia, REAAA, September 2000. Tokyo, Japan.

Rolt J, H R Smith and C R Jones (1986). *The design and performance of bituminous overlays in tropical environments.* Proc. 2nd Int. Conf. on the Bearing Capacity of Roads and Airfield. Plymouth, UK

SABITA (2012). *Bituminous surfacings for low volume roads and temporary deviations*. Manual 10. Sabita, Republic of South Africa.

SABITA (2005). *Used Guide for the Design of Hot Mix Asphalt*. SABITA manual 24, Sabita, Cape Town, South Africa.

Sampson, L R (1991). *Aggregate Durability: Recommended Tests and Specification Limit for Road Basecourse.* Proc. 10th Regional conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering and the 3rd International conference on Tropical and Residual Soils, Maseru, Lesotho, 23-27 September 1991.

Sayers, M W, T D Gillespie and W D O Paterson (1986). *Guidelines for the Conduct and Calibration of Road Roughness Measurements*. World Bank Technical Paper No. 46, The World Bank, Washington, D.C.

SHRP-P-655. Layer moduli back-calculation procedures

Smith, H R, J Rolt and J H G Wambura (1990). *The durability of bituminous overlays and wearing courses in tropical environments*. Proc. 3rd Int. Conf. on the Bearing

Capacity of Roads and Airfields. The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway.

South African National Standards -SANS (1997). Specification for Penetration Grade Bitumen. SANS 307, Amendment 07. South African Bureau of Standards, Pretoria. RSA.

Strauss, P J, V P Servas and G P Marais (1984). *Unexpected surface cracking of asphalt wearing courses.* Proc. 4th Conf. on Asphalt Pavements for Southern Africa, Capetown, CAPSA, RSA.

Transport Research Laboratory (1993). *A guide to the structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries*. Overseas Road Note 31 (Fourth Edition). TRL, Crowthorne, UK.

Transport Research Laboratory (1996). *Design guide for road surface dressings.* Road Note 39, 4th edition. TRL Limited, Crowthorne, UK.

Transport Research Laboratory (1999). *A guide to the pavement evaluation and maintenance of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries*. Overseas Road Note 18. TRL Limited, Crowthorne, UK.

Transport Research Laboratory (2000). *A guide to surface dressing in tropical and sub-tropical countries. Overseas Road Note* No 3, (2nd Edition). TRL, Crowthorne, UK.

Transport Research Laboratory (2002). *A guide to the design of hot mix asphalt in tropical and sub-tropical countries. Overseas Road Note 19.* TRL Limited, Crowthorne, UK.

Transport Research Laboratory (2004). *UK DCP version 2.2*. TRL Limited, Crowthorne, UK.

Transport Research Laboratory (2004). *A guide to axle load surveys and traffic counts for determining traffic loading on pavements*. ORN 40. TRL Limited, UK.

Transport Research Laboratory (2005). *A guide to project appraisal*. Overseas Road Note 5. TRL Limited, Crowthorne, UK.

Watanatada, T, C G Harral, W D O Paterson, A M Dhareshwar, A Bhandari and K Tsunokawa (1987). *Highway Design and Maintenance Standards Series (2 Volumes)*. John Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, USA.

Whiteoak, D (1990). *Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen, UK.

Apêndice A

Método do Número Estrutural

Apêndice A Método do Número Estrutural

A.1 Introdução

O conceito de número estrutural foi introduzido pela primeira vez como resultado do Ensaio de Estrada AASHO como uma medida da resistência geral do pavimento. É essencialmente uma medida da espessura total do pavimento rodoviário ponderada de acordo com a "resistência" de cada camada e calculada da seguinte forma:

$$SN = 0{,}0394 \sum m_i.a_i.h_i$$

onde

SN	=	número estrutural do pavimento,
a_i	=	coeficiente de resistência da camada i,
h_i	=	espessura da iª camada, em milímetros
m_i	=	coeficientes de "drenagem" que modificam os coeficientes de resistência da camada de materiais não ligados se a drenagem for fraca e/ou o clima for favorável ou severo.

A soma é sobre o número de camadas do pavimento, n.

Os coeficientes de resistência da camada individual são determinados a partir dos ensaios normais que são usados para definir a resistência do material em questão, por ex. CBR para materiais granulares, UCS para materiais cimentados, etc. A Tabela A-1 mostra valores típicos.

Para projectar as medidas de reabilitação, é necessário medir o número estrutural da estrada existente e a resistência do leito. Os dados do DCP e do poço de ensaio são usados para essa finalidade.

Se o DCP for usado para medir as resistências *in situ* e as espessuras das camadas do pavimento existente na época do ano em que o pavimento está mais fraco, nenhum ajuste é necessário para a estação do ano.

Se o revestimento de Betão betuminoso na estrada existente estiver em más condições (por exemplo, com fissuras negativas), seu coeficiente de resistência será baixo e muito variável. No entanto, é improvável que, nesta condição, um revestimento seja a opção de reabilitação preferida e, portanto, não seja necessária uma avaliação precisa do coeficiente de resistência do revestimento para o projecto estrutural da estrada revestida. Em situações em que o revestimento é a opção preferida, é necessária uma estimativa do coeficiente de resistência do revestimento de asfalto. O betume em direcção ao topo desta camada é provavelmente envelhecida e bastante frágil, mas isso é compensado pelas altas temperaturas da estrada que ocorrem nas regiões tropicais. Sua temperatura de operação, no entanto, também depende da espessura do revestimento e das condições climáticas locais. Estimar seu valor efectivo é, portanto, difícil. A experiência indicou que um valor de 0,35 é geralmente adequado, mas isso pode variar de 0,25 a 0,4 com base no julgamento da engenharia.

Os coeficientes de drenagem são efectivamente factores de calibração para o regime de humidade experimentado pela estrada e, portanto, estão relacionados ao clima e à drenagem. Eles são obtidos comparando o desempenho de estradas em região climática específica com o desempenho esperado com base na equação de projecto AASHTO com os coeficientes definidos em unidade. No manual do projecto AASHTO, os valores citados

variam de 0,4 para condições extremamente fracas até 1,4 para condições muito boas, mas a faixa de trabalho usual é de 0,8 a 1,2. No entanto, para uma estrada bem projectada, os efeitos de seu regime de humidade ou clima são primariamente manifestos na resistência do leito, e um esforço considerável é gasto na obtenção do valor mais preciso para fins de dimensionamento. Não é provável que a drenagem deficiente afecte toda a estrada e a natureza variável da drenagem interna é melhor considerada como parte da variabilidade global de desempenho que é capturada no desvio padrão do termo S_0 na equação de projecto.

Tabela A-1 Coeficientes de resistência da camada de pavimento

Camada	Tipo de Camada	Condição	Coeficiente
Pavimento	Revestimento do pavimento		a_i = 0,1
	Novo revestimento de Betão betuminoso [1,2]	MR_{30} = 1.500 MPa	a_i = 0,30
		MR_{30} = 2.000 MPa	a_i = 0,35
		MR_{30} = 2.500 MPa	a_i = 0,40
		$MR_{30} \geq$ 3.000 MPa	a_i = 0,45
Base da estrada	Betão asfáltico	Como acima	Como acima
	Granular não ligado	Defeito	$a_i = (29{,}14\ CBR - 0{,}1977\ CBR^2 + 0{,}00045\ CBR^3)\ 10^{-4}$
		GB 1 (CBR > 100%)	0,145
		GB 2 (CBR = 100%)	0,14
		GB 3 (CBR = 80%) Com uma camada estabilizada por baixo Com uma camada granular não ligada embaixo	 0,135 0,13
		GB 4 (CBR = 65%) [4]	0,12
		GB 5 (CBR = 55%)[4]	0,107
		GB 6 (CBR = 45%)[4]	0,1
	Material granulars e areias tratados com betume	Estabilidade Marshall = 2,5 MN	a = 0,135
		Estabilidade Marshall = 5,0 MN	a = 0,185
		Estabilidade Marshall = 7,5 MN	a = 0,23
	Cimentado [3]	Equação	$a_i = 0{,}075 + 0{,}039\ UCS - 0{,}00088(UCS)^2$
		CB 1 (UCS = 3,0 – 6,0 MPa)	a = 0,18
		CB 2 (UCS = 1,5 – 3,0 MPa)	a = 0,13
Sub-base	Granular não ligado	Equação	$a_j = 0{,}075 + 0{,}184(\log_{10} CBR) - 0{,}0444(\log_{10} CBR)^2$
		GS (CBR = 30%)	a = 0,105
		GC (CBR = 15%)	a = 0,08
	Cimentado	CB 3 (UCS = 0,7 – 1,5 MPa)	a = 0,1

Notas:

1. Veja a discussão acima
2. Resistência de Compressão não Definida (UCS) é citada em MPa aos 14 dias
3. MR_{30} é o módulo de elasticidade pelo ensaio de tração indirecta a 30 °C
4. Usado para estradas de baixo volume (consulte o manual do LVR)

A.2 Número Estrutural Modificado

O Ensaio de Estrada da AASHO foi construído em um único leito, portanto, o efeito de leitos diferentes não pode ser estimado e o número estrutural não pode incluir uma contribuição de leito. Para superar esse problema e estender o conceito a todos os leitos, uma contribuição do leito foi derivada, conforme descrito por Hodges et al. (1975) e um número estrutural modificado definido da seguinte forma:

$$SNC = SN + 3{,}51\ (\log_{10} CBR_s) - 0{,}85\ (\log_{10} CBR_s)^2 - 1{,}43$$

onde

SNC = Número estrutural modificado do pavimento

CBR_s = CBR in-situ do leito

O número estrutural modificado (SNC) tem sido amplamente utilizado e forma a base para a definição da resistência do pavimento em muitos modelos de desempenho de pavimentos.

A.3 Número Estrutural Ajustado

Muitos pavimentos rodoviários não podem ser facilmente divididos em distintas camadas de base e sub-base com um leito bem definido e uniforme. Assim, ao calcular o número estrutural de acordo com a equação acima, o engenheiro tem que julgar quais camadas definir como base, que como sub-base e onde definir o topo do leito. Para muitas estradas isso se mostrou bastante difícil. Geralmente, existem várias camadas que podem ser consideradas sub-bases ou parte do leito, especialmente onde camadas de limite ou filler seleccionado foram usados. A soma simples de todas as camadas aparentes permite que o engenheiro obtenha praticamente qualquer valor de número estrutural, pois o valor dependerá de onde o engenheiro assume que a sub-base (s) termina e o leito começa. No passado, este problema foi resolvido simplesmente limitando a profundidade total de todas as camadas que são consideradas como pavimento da estrada. No entanto, isso é um pouco arbitrário, não foi usado universalmente e levou a erros inaceitavelmente grandes em algumas circunstâncias.

O problema surge porque as contribuições de cada camada para o número estrutural são independentes da profundidade. Isso não pode estar correcto, já que a lógica determina que uma camada muito profunda dentro do leito pode ter pouca ou nenhuma influência no desempenho da estrada. Para eliminar o problema, foi desenvolvido um método de cálculo do número estrutural modificado, no qual as contribuições de cada camada para o número estrutural geral diminuem com a profundidade (Rolt e Parkman, 2000).

Para distinguir o número estrutural derivado do Número Estrutural Modificado original (SNC), o novo número estrutural é chamado de Número Estrutural Ajustado (SNP). É calculado da seguinte forma:

$$SNP = SNA + SNS + SNG$$

Onde os termos do componente são calculados a seguir;

$$SNA = 0{,}0394 \sum_{i=1}^{n} a_i\ h_i$$

$$SNS = 0.0394 \sum_{j=1}^{m} a_j \left\{ \left(\frac{b_0 \exp(-b_3 z_j)}{-b_3} + \frac{b_1 \exp(-(b_2+b_3) z_j)}{(b_2+b_3)} \right) - \left(\frac{b_0 \exp(-b_3 z_{j-1})}{-b_3} + \frac{b_1 \exp(-(b_2+b_3) z_{j-1})}{(b_2+b_3)} \right) \right\}$$

$$SNG = (b_0 - b_1 \exp(-b_2 z_m))\ (\exp(-b_3 z_m))\ [3{,}51 \log_{10} CBR - 0{,}85(\log_{10} CBR)^2 - 1{,}43]$$

e

SNP	=	número estrutural ajustado do pavimento
SNA	=	contribuição das camadas de superfície e base
SNS	=	contribuição da sub-base e camadas de filler selecionadas
SNG	=	contribuição do leito
n	=	número de camadas de base e de superfície (i = 1, n)
a_i	=	coeficiente de camada para a camada de base ou de superfície
h_i	=	espessura da camada de base ou de superfície i, em mm
m	=	número de sub-bases e camadas de filler selecionadas (j = 1, m)
a_j	=	coeficiente de camada para sub-base ou camada de filler selecionada j para a época
z	=	parâmetro de profundidade medido a partir do topo da sub-base (lado inferior da base), em mm
z_j	=	profundidade na parte inferior da camada j (z0 = 0), em mm
CBR	=	subcategoria CBR in situ

Os valores dos coeficientes do modelo b_0 a b_3 são dados na Tabela A.2.

Tabela A-2 Coeficientes do modelo numérico estrutural ajustado

b_0	b_1	b_2	b_3
1,6	0,6	0,008	0,00207

Deve-se notar que, para estradas que foram construídas de acordo com os desenhos no Manual de Dimensionamento de Pavimentos (ou qualquer outro manual) com camadas bem definidas de resistência uniforme, o Número Estrutural Ajustado e o Número Estrutural Modificado são essencialmente idênticos. O valor do SNP é calculado ao avaliar um pavimento com muitas camadas de resistência variável.

A.4 Números Estruturais-alvo

Ao projectar a reabilitação, é necessário determinar o SN efectivo existente e o SN necessário para suportar o tráfego adicional. As Tabela A-3 mostram os valores teóricos de SN e SNC para diferentes condições de leito e para vários tipos de pavimentos calculados a partir dos gráficos de projecto no *Manual de Dimensionamento de Pavimentos*.

Ao projectar um revestimento, a principal camada portadora de carga será o próprio revestimento e a superfície antiga existente. Assim, os projectos serão baseados nos gráficos C e D, dependendo da estrutura existente.

Tabela A-3 Números estruturais alvos para diferentes estruturas

GRÁFICO	LEITO	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
		1	1,5	3	6	10	17	30	50	80
Gráfico A1	S1	2,86	2,99	3,30	3,47	3,66				
	S2	2,44	2,57	2,80	3,05	3,28				
	S3	1,95	2,08	2,31	2,50	2,74	Inclui 0,1 para SD			
	S4	1,50	1,63	1,87	2,07	2,31				
	S5	1,17	1,30	1,43	1,56	1,76				
	S6	0,88	1,01	1,01	1,15	1,28				
Gráfico A2	S1	2,82	2,95	3,25	3,45	3,61	3,82			
	S2	2,40	2,53	2,82	3,04	3,23	3,43			
	S3	1,96	2,09	2,31	2,57	2,78	2,91			
	S4	1,65	1,78	1,91	2,16	2,31	2,44			
	S5	1,26	1,40	1,52	1,78	1,91	2,04			
	S6	0,88	1,01	1,15	1,28	1,52	1,65			
Gráfico A3	S1	2,74	2,87	3,00	3,20	3,31	3,44			
	S2	2,39	2,51	2,64	2,85	3,06	3,18			
	S3	2,02	2,15	2,25	2,47	2,67	2,80			
	S4	1,59	1,72	1,95	2,19	2,39	2,52			
	S5	1,28	1,41	1,61	1,85	1,95	2,08			

GRÁFICO	LEITO	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
		1	1,5	3	6	10	17	30	50	80
	S6	0,87	0,99	1,12	1,25	1,38	1,51			
Gráfico B	S1		3,04	3,25	3,45	3,68				
	S2		2,58	2,79	3,00	3,23				
	S3		2,08	2,29	2,49	2,72				
	S4		1,77	1,87	2,08	2,31				
	S5		1,44	1,54	1,64	1,87				
	S6		1,02	1,15	1,28	1,41				
Gráfico C1	S1					4,61	5,06	5,61		
	S2					4,08	4,53	5,08		
	S3					3,59	4,04	4,49		
	S4					3,16	3,61	4,06		
	S5					2,79	3,27	3,75		
	S6					2,44	2,92	3,40		
Gráfico C2	S1					4,44	5,04	5,30		
	S2					4,04	4,51	4,82		
	S3					3,51	3,99	4,33		
	S4					3,20	3,67	4,02		
	S5					2,94	3,29	3,63		
	S6					2,68	3,02	3,37		

GRÁFICO	LEITO	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
		1	1,5	3	6	10	17	30	50	80
Gráfico D	S1					4,66	5,00	5,34	5,58	5,93
	S2					4,31	4,55	4,89	5,12	5,48
	S3					3,93	4,16	4,50	4,74	5,09
	S4					3,50	3,73	4,07	4,31	4,66
	S5					3,19	3,42	3,66	3,90	4,25
	S6					2,78	3,01	3,25	3,48	3,84

Apêndice B

Medições do DCP

Apêndice B Medições do DCP

B.1 Introdução

O Cone de Penetração Dinâmico (DCP) é um instrumento que pode ser utilizado para a medição rápida da resistência *in situ* de pavimentos existentes construídos com materiais não ligados. As medições podem ser feitas até uma profundidade de aproximadamente 800 mm ou, quando uma haste de extensão é instalada, a uma profundidade de 1200 mm. Onde as camadas do pavimento têm resistências diferentes, os limites entre eles podem ser identificados e a espessura de cada camada estimada.

Os ensaios de DCP são particularmente úteis para identificar a causa da deterioração da estrada quando esta está associada a uma das camadas de pavimento não ligadas, p.e. rotura por corte da base ou sub-base. Uma comparação entre os resultados do ensaio DCP das subsecções que estão apenas a começar a roturar e as que são sólidas identificarão rapidamente a camada do pavimento que é a causa do problema.

Geralmente é conveniente converter as espessuras e resistências individuais da camada do pavimento medidas no ensaio DCP em um número estrutural, conforme descrito no Apêndice A.

Se houver suspeita de que as roturas na estrada estejam relacionadas à resistência estrutural geral do pavimento, o Número Estrutural Modificado de subsecções diferentes pode ser prontamente comparado para identificar a fraqueza.

B.2 Procedimento de Ensaio do DCP

O DCP padrão usa um martelo de 8 kg que cai de uma altura de 575 mm e um cone de 60 ° com um diâmetro máximo de 20 mm.

O instrumento é montado conforme mostrado na Figura B-1. É fornecido com duas chaves e uma barra de tommy para garantir que as juntas aparafusadas sejam mantidas apertadas em todos os momentos. Para ajudar nisso, as seguintes juntas devem ser protegidas com um composto de travamento de rosca sem endurecimento antes do uso:

i) Punho/eixo do martelo
ii) Acoplamento/ eixo do martelo
iii) Eixo/cone padrão

O instrumento é geralmente dividido na junta entre o eixo padrão e o acoplamento para transporte e armazenamento e, portanto, não é comum usar o composto de travamento nesta junta. No entanto, é importante que esta junta seja verificada regularmente durante o uso, para garantir que ela não se solte. Operar o DCP com qualquer articulação solta reduzirá significativamente a vida útil do instrumento.

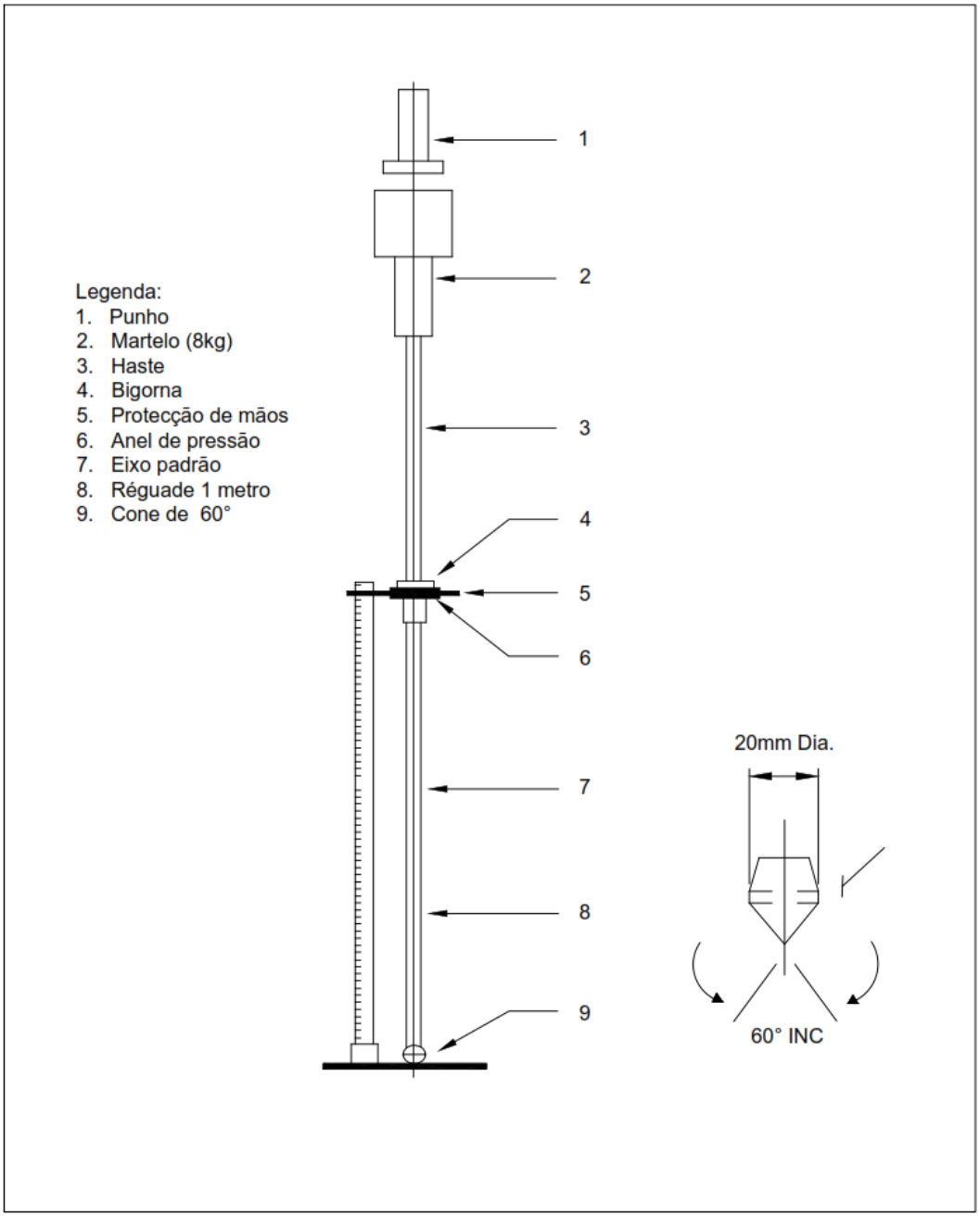


Figura B-1 Cone de Penetração Dinâmico

B.3 Operação

Um ambiente de trabalho seguro deve ser mantido em todos os momentos. Muitas organizações têm procedimentos de segurança no local que devem ser seguidos. Onde não há procedimentos de segurança locais, são recomendados os constantes no Overseas Road Note 2 da TRL.

Após a montagem, a primeira tarefa é registar a leitura zero do instrumento. Isso é feito colocando-se o DCP em uma superfície dura, como betão, verificando se ele está na vertical e, em seguida, inserindo a leitura zero no local apropriado no proforma (consulte a Figura B-3).

O DCP precisa de três operadores, um para segurar o instrumento, um para levantar e soltar o peso e um técnico para registar as leituras. O instrumento é mantido na vertical

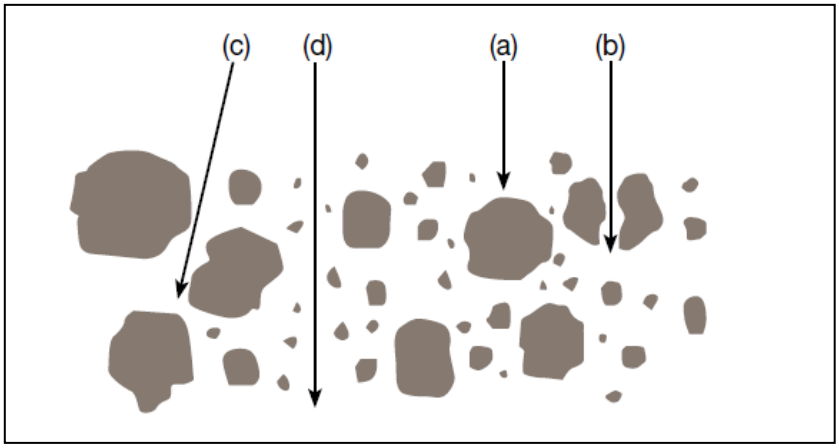
e o peso é elevado para o cabo. Cuidados devem ser tomados para garantir que o peso toca a alça, mas não levantando o instrumento, antes que ele caia. O operador deve deixá-lo cair livremente e não abaixá-lo parcialmente com as mãos.

Recomenda-se que seja feita uma leitura com incrementos de penetração de cerca de 10 mm. No entanto, geralmente é mais fácil fazer uma leitura após um determinado número de golpes. Portanto, é necessário alterar o número de golpes entre as leituras, de acordo com a resistência da camada que está sendo penetrada. Para leituras de bases granulares de boa qualidade, cada 5 ou 10 golpes são geralmente satisfatórios, mas para leituras de sub-bases e leitos mais fracos, cada 1 ou 2 golpes pode ser apropriado. Não há nenhuma desvantagem em fazer muitas leituras, mas se as leituras forem feitas com pouca frequência, os pontos fracos podem ser perdidos e será mais difícil identificar os limites da camada com precisão, portanto, informações importantes serão perdidas.

Quando a versão estendida do DCP é usada, o instrumento é direccionado para o pavimento até uma profundidade de 400-500mm antes que o eixo de extensão possa ser adicionado. Para fazer isso, a régua de medição é separada de sua placa de base e o eixo é dividido para aceitar o eixo de extensão. Após a remontagem, uma leitura de penetração é feita antes que o ensaio seja continuado.

Depois de concluir o ensaio, o DCP é removido tocando-se o peso para cima contra a alça. Cuidado deve ser tomado ao fazer isso; se for feito com muita força, a vida útil do instrumento será reduzida.

É preciso também ter cuidado ao realizar a pesquisa do DCP, descartando quaisquer medições que possam produzir resultados anómalos. Tais resultados podem surgir, por exemplo, onde grandes pedras ocorrem na camada do pavimento (Figura B.2).



(a) Cone não pode penetrar	(b) Cone quebra a pedra. O perfil do DCP mostra um plateau e as leituras subsequentes podem ser baixas.	(c) Haste empurrada para o lado e inclinado em um ângulo. Fricção excessiva na haste dá baixa leitura	(d) Resultado Normal

Figura B-2: Efeitos do DCP na presença de pedras grandes

O DCP pode ser conduzido em revestimentos superficiais, mas é recomendado que os revestimentos betuminosos espessos sejam perfurados ou cortados antes de testar as camadas inferiores. Isso deve ser feito usando o mínimo de água lubrificante possível para evitar molhar a camada abaixo e obter leituras de resistência incorrectas. Pouca dificuldade é normalmente sentida com a penetração da maioria dos tipos de materiais granulares ou levemente estabilizados. É mais difícil penetrar camadas fortemente estabilizadas, materiais granulares com partículas grandes e pedra britada muito densa e de alta qualidade. O instrumento da TRL foi projectado para materiais fortes e, portanto, o operador deve perseverar com o ensaio. Taxas de penetração tão baixas quanto 0,5 mm/golpe são aceitáveis, mas se não houver penetração mensurável após 20 golpes consecutivos, pode-se presumir que o DCP não penetrará no material. Nestas circunstâncias, pode ser perfurado um poço através da camada usando uma broca eléctrica ou pneumática, ou por perfuração a seco. As camadas inferiores do pavimento podem então ser testadas da maneira normal. Se apenas dificuldades ocasionais forem encontradas em materiais granulares penetrantes, vale a pena repetir qualquer ensaio com rotura a uma curta distância do ponto de ensaio original.

Se, durante o ensaio, o DCP se inclinar para longe da vertical, nenhuma tentativa deve ser feita para corrigi-lo, porque o contacto entre o eixo e os lados do furo pode dar origem a uma superestimava da resistência do leito. Isso é resultado do atrito na haste causado pela penetração inclinada, ou pelo colapso de qualquer camada de pavimento granular superior. Onde há uma espessura substancial de material granular, e quando as estimativas da resistência real do leito são necessárias (em vez de valores relativos), é recomendado que um furo seja perfurado através da camada granular antes de testar as camadas inferiores.

É sempre aconselhável verificar se o atrito lateral não influenciou o resultado de um ensaio de DCP. Isso é feito facilmente, tentando torcer o eixo quando o DCP está em penetração total. Se o eixo não puder ser girado com facilidade entre os dedos, haverá muito atrito lateral e o ensaio deverá ser repetido. O ensaio errado deve ser marcado como tal, mas não abandonado, porque o problema de atrito lateral pode não ter surgido na primeira parte do ensaio.

Se o DCP for usado extensivamente para materiais duros, o desgaste no próprio cone será acelerado. O cone é uma peça substituível e é recomendado por outras autoridades que ele deve ser substituído quando seu diâmetro é reduzido em 10%. No entanto, outras causas de desgaste também podem ocorrer, portanto, o cone deve ser inspeccionado antes de cada ensaio.

B.4 Interpretação dos resultados

Os resultados do ensaio de DCP são normalmente registados numa planilha de dados de campo semelhante à ilustrada na Figura B-3. Os resultados podem então ser plotados à mão, conforme mostrado na Figura B-4, ou processados por computador.

Relacionamentos entre leituras de DCP e RBC foram obtidos por várias autoridades de pesquisa (ver Figura B-5). A concordância é geralmente boa na maior parte do intervalo, mas as diferenças são aparentes em valores baixos de CBR em materiais de granulometria fina. Espera-se que para tais materiais a relação entre DCP e CBR dependa do estado do material e, portanto, se forem necessários valores mais precisos, é aconselhável calibrar o DCP para o material que está sendo avaliado.

ENSAIO DCP

Local da obra / Estrada:
Ensaio Nº
Secção Nº / localização (km):
Direcção:
Trajectória da Roda

Data:

Leitura zero de DCP:
Ensaio iniciadoem:

Nº de Pancadas	Σ de Pancadas	mm	Nº de Pancadas	Σ de Pancadas	mm	Nº de Pancadas	Σ de Pancadas	mm

Figura B-3 Folha de ensaio de DCP no campo

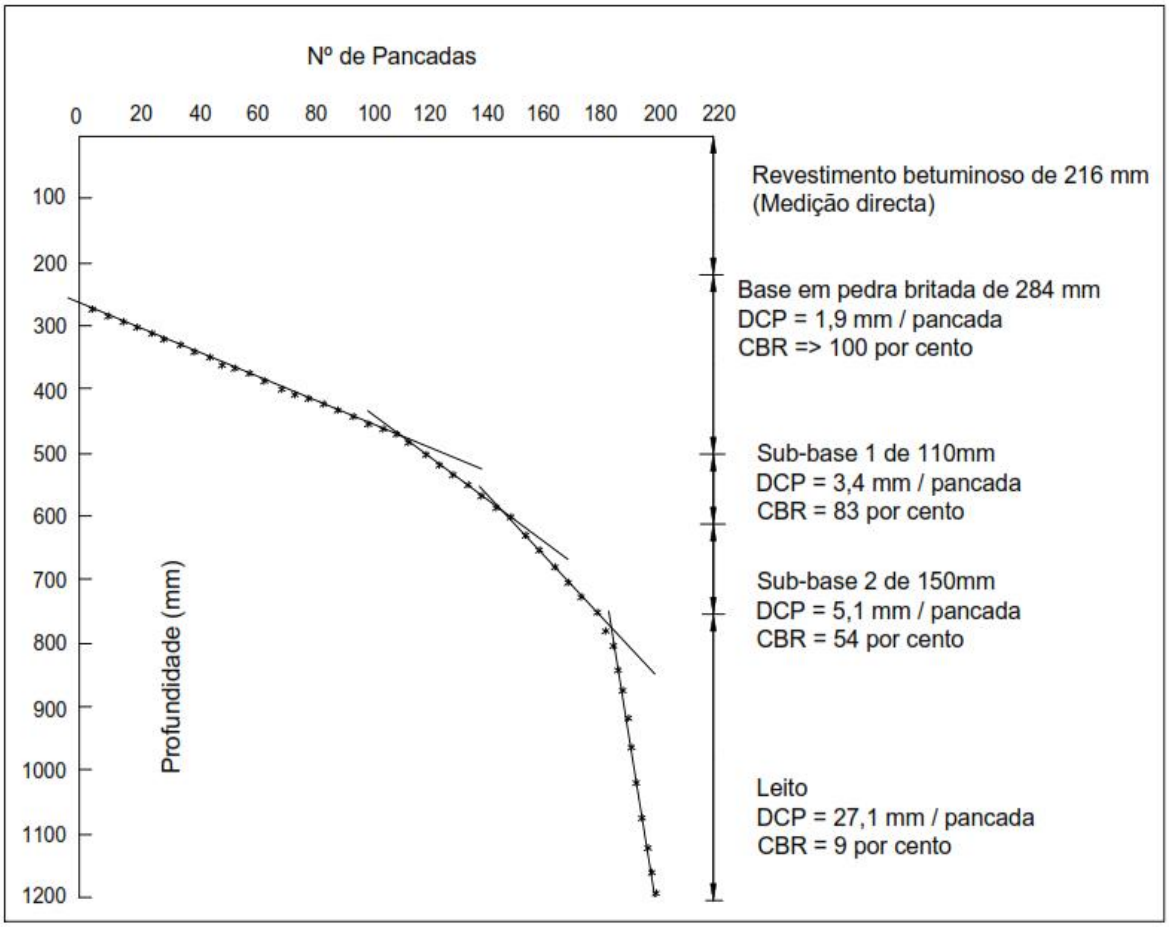


Figura B-4 Resultado típico do ensaio de DCP

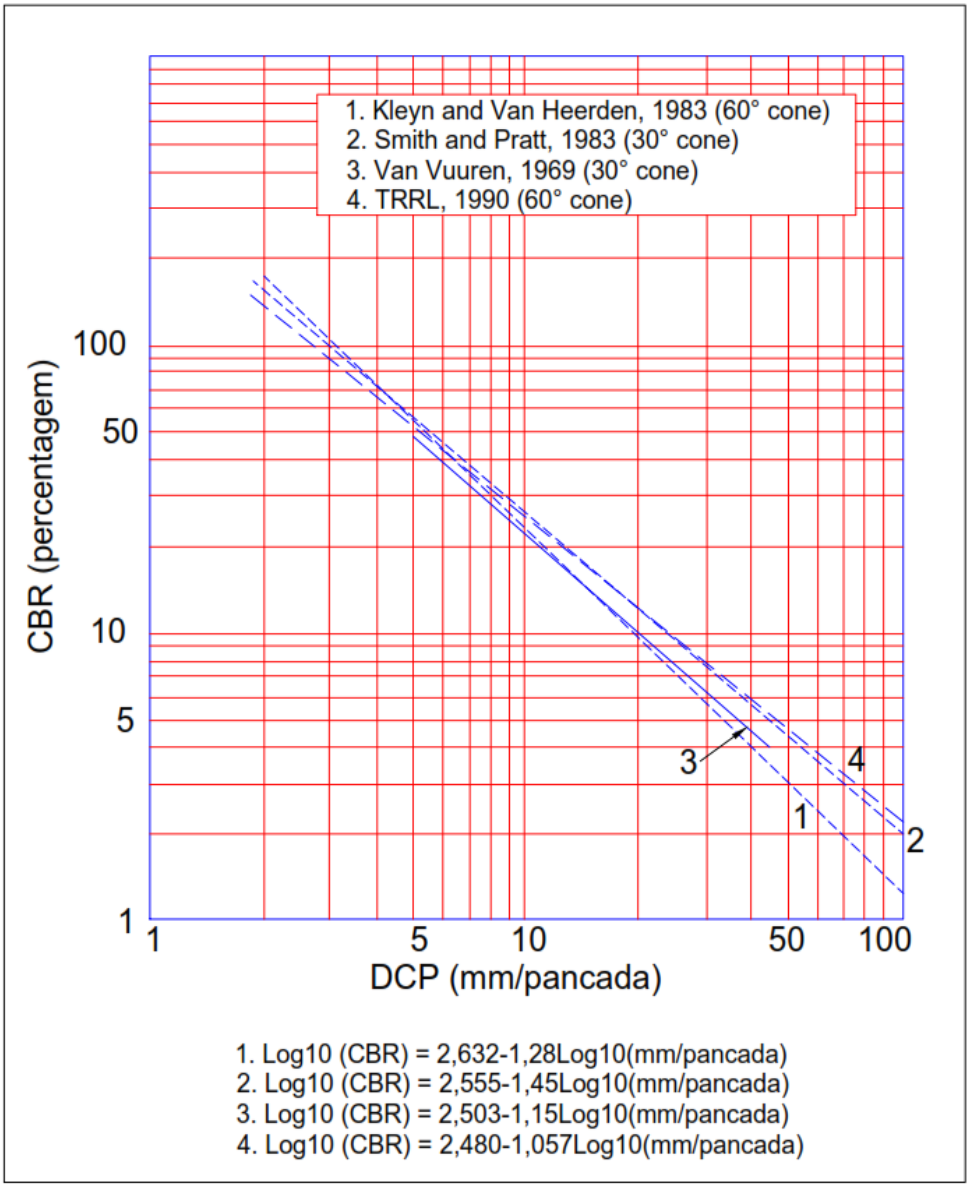


Figura B-5 Relações DCP-CBR

Apêndice C

Medições de Rugosidade

Apêndice C Medições de Rugosidade

C.1 Introdução

Os custos operacionais do veículo aumentam à medida que a rugosidade do pavimento da estrada aumenta. A maioria dos defeitos da estrada contribui de alguma forma para aumentar a rugosidade do pavimento da estrada, embora, em seus estágios iniciais, a fissuração possa causar pouca ou nenhuma alteração. No entanto, sem a manutenção adequada, a superfície fissurada se deteriora e os buracos resultantes e as correcções subsequentes causam um rápido aumento da rugosidade. A textura superficial e a variabilidade na profundidade da rodeira também têm um efeito significativo na rugosidade de um pavimento.

A rugosidade das estradas com construção de pavimento semelhante é uma boa medida de sua condição relativa de pavimento, mas não identifica a natureza das roturas ou suas causas. No entanto, se os recursos para o levantamento de condições de superfície forem limitados, ou se as secções da estrada sob investigação forem muito longas, dados de rugosidade e levantamento visual contínuo podem ser usados para estabelecer esses comprimentos de estrada tendo roturas de severidade diferente. Isso permite que comprimentos representativos da estrada sejam seleccionados, que podem ser usados para identificar a causa ou causas de deterioração.

A medida padrão de rugosidade das estradas é o Índice Internacional de Rugosidade (IRI), desenvolvido durante o Experimento Internacional de Rugosidade das Estradas realizado no Brasil em 1982 (Sayers et al 1986). O IRI é uma simulação matemática do carro de um quarto do movimento de um veículo a uma velocidade de 80 km/h sobre o perfil medido e pode ser calculado directamente dos níveis da estrada medidos em intervalos frequentes. As unidades do IRI são m/km. Dispositivos para medição de níveis geralmente são lentos e trabalhosos ou rápidos, automáticos e dispendiosos. Assim, a rugosidade da estrada é geralmente medida usando um Sistema de Medição de Rugosidade do Tipo de Resposta (RTRRMS) que deve ser periodicamente calibrado para permitir que os valores de rugosidade sejam reportados em termos de IRI. Um guia aproximado do IRI é mostrado na Tabela C-1.

Os muitos métodos para medir a rugosidade da estrada em uso em todo o mundo podem ser agrupados em quatro classes genéricas com base na precisão com que eles medem o perfil da estrada e, portanto, no Índice Internacional de Rugosidade (IRI).

Classe 1 - Perfis de precisão
Classe 2 - Outros métodos profilométricos
Classe 3 - IRI por correlação
Classe 4 - Classificações subjectivas

Classe 1 - Perfis de Precisão

Esta classe tem o mais alto padrão de precisão. Os métodos de Classe 1 são aqueles que amostram o perfil vertical da estrada em distâncias não maiores que 250 mm com uma precisão de 0,5 mm para estradas lisas. Este perfil é então usado para calcular o IRI. Os métodos de Classe 1 são usados principalmente para a calibração e validação de outros métodos de medição de rugosidade. Eles podem ser usados para secções relativamente curtas, onde um alto grau de precisão é necessário, mas não são adequados para levantamentos gerais de rugosidade. Exemplos de métodos da Classe

1 incluem a pesquisa de haste e nível, o Feixe de Perfil TRL, o Face Dipstick e o ARRB Walking Profiler.

Classe 2 - Outros métodos profilométricos

Esta classe inclui todos os outros métodos em que o perfil da estrada é medido como a base para o cálculo directo do IRI, mas que não são capazes de precisão e/ou intervalo de medição especificado para um perfil de precisão da Classe 1. Esta classe inclui a maioria dos profilómetros de alta velocidade.

Tabela C-1 Escala de estimativa da rugosidade das estradas para estradas revestidas com revestimento de Betão betuminoso ou revestimento superficial

Classificação IRI (mm/km)	Descrição
< 3,0	Condução confortável a mais de 120 km/h Na faixa de 1.3 a 1.8 ondulações quase imperceptíveis a 80 km/h Não há depressões, buracos ou corrugações perceptíveis; depressões <2mm / 3m CA de alta qualidade na faixa de 1.4 a 2.3 Tratamento de superfície de alta qualidade 2.0 - 3.0
4 - 5	Condução e de forma confortável até 100 -120km/h A 80km/h, movimentos moderadamente perceptíveis ou grandes ondulações podem ser sentidos As depressões ocasionais, remendos ou buracos (por exemplo 5-15 mm / 3m) ou 10-20 mm/5m com frequência 1-2 por 50m ou muitos buracos pouco profundos (por exemplo, no tratamento de superfície mostrando extenso atrito) Pavimento sem corrugações ou grandes ondulações.
7 - 8	Condução confortável até 70 -90km/h, movimento fortemente perceptível e balançando. Normalmente associados com defeitos: depressões ou remendos moderadas e desiguais frequentes (por exemplo, 15-20mm/3m ou 20-40mm/5m com frequência 3-5 por 50m) ou ocasionais buracos (por exemplo, 1-3 por 50m). Defeitos de pavimento: fortes ondulações e corrugações
9 - 10	Condução e de forma confortável até 50 a 60 km/h, movimentos agudos frequentes ou oscilações. Associado a defeitos graves: depressões e remendos profundos e desiguais frequentes (por exemplo, 20-40 mm/3m ou 40-80mm/5m com frequência 3-5 por 50m) ou buracos frequentes (por exemplo, 4-6 por 50m)
>11	Necessário reduzir a velocidade abaixo de 50 km/h. Muitas depressões profundas, buracos e desintegração severa (por exemplo, 40-80 mm de profundidade com frequência 8-16 por 50m)

Class 3 - IRI da correlação

Os dispositivos dessa classe medem a rogosidade, mas precisam de calibração para converter os dados em unidades do IRI. A maioria dos dados de rugosidade da estrada

actualmente recolhidos em todo o mundo são obtidos com o RTRRMS (Response-Type Road Roughness Measuring Systems). Embora esses sistemas possam assumir a forma de reboques, como reboque da 5ª roda do bump integrator, eles envolvem mais frequentemente instrumentos montados em um veículo de levantamento. Exemplos de RTRRMS montados em veículos incluem a unidade Bump Integrator, o medidor NAASRA e o medidor Mays. Esses instrumentos geralmente medem a rugosidade em termos do movimento cumulativo entre o eixo do veículo e o chassi ao transitar ao longo de uma estrada sob condições padrão.

Também nesta classe é uma alternativa de baixo custo, a Máquina para Avaliar a Rugosidade usando a Instrumentação de Baixo Custo (ou MERLIN para abreviar) que pode ser usada para estimar IRI e também calibrar outros RTRRMS. O MERLIN não regista o perfil absoluto, mas mede os desvios de corda média ao longo de um comprimento de base predeterminado para uma secção da estrada e, em seguida, relaciona uma estatística da frequência desses desvios para o IRI usando uma correlação predeterminada.

Os valores de rugosidade registados pelo RTRRMS dependem da dinâmica do veículo e da velocidade na qual ele é conduzido. As propriedades dinâmicas de cada veículo são únicas e também mudam com o tempo, por exemplo, quando as molas e amortecedores se desgastam. Portanto, é essencial que os valores de rugosidade obtidos de um RTRRMS sejam convertidos em unidades de IRI calibrando-o regularmente com um dispositivo de Classe 1 ou 2 ou o MERLIN.

Classe 4 - Classificação Subjectiva

Esta classe tem o menor padrão de precisão. Inclui métodos como a avaliação subjectiva que envolvem a capacidade de cor e a avaliação visual. Isso é ilustrado na Table C-1. Descobriu-se que estimativas subjectivas de IRI são propensas a erros de até 40% para novos observadores e, portanto, esse método só deve ser usado quando outros métodos não estiverem disponíveis. Os RTRRMS não calibrados também se enquadram nessa categoria.

C.2 Operação do Merlin

O MERLIN é adequado para medir a rugosidade de trechos curtos da estrada, como secções de ensaio experimentais ou secções usadas para calibrar um sistema montado no veículo (RTRRMS). Note que, para longos comprimentos de estrada, um sistema montado no veículo é mais apropriado.

O MERLIN é mostrado na Figura C-1. Tem um pé e uma roda, com 1,8 metros de distância, que repousam na superfície da estrada ao longo da trajectória das rodas. Uma sonda móvel repousa na superfície da estrada a meio caminho entre o pé e a roda. Esta sonda mede a distância vertical, y, entre a superfície da estrada e o ponto central de uma linha imaginária unindo o pé e a base da roda. O resultado é registado em um gráfico de dados montados na máquina. Ao registar as medidas ao longo da trajectória das rodas, um histograma dos valores de "y" (amplificados por um factor de aproximadamente 10) pode ser construído no gráfico. A largura deste histograma pode então ser usada para determinar o IRI.

Para determinar o IRI, 200 medições são geralmente feitas em intervalos regulares. Para cada medição, a posição do ponteiro no gráfico, ilustrado na Fig. C-2, é marcada por uma cruz na caixa alinhada com o ponteiro e, para manter uma contagem do número total de medições feitas, uma cruz também é colocada na 'Caixa de Registro'

no gráfico. Quando as 200 medições tiverem sido feitas, a posição intermediária entre a 10ª e a 11ª cruzes (contadas a partir de uma extremidade da distribuição) é marcada no gráfico. O procedimento é repetido para o outro extremo da distribuição. O espaçamento entre as duas marcas, D, é então medido em milímetros.

Para estradas de terra, material granular, revestidas à superfície e de Betão betuminoso, o IRI pode ser determinado usando a seguinte equação.

$$IRI = 0{,}593 + 0{,}0471\ D$$

Essa equação pressupõe que o MERLIN tenha um factor de amplificação mecânica de 10. Na prática, isso pode não ser verdade devido a pequenos erros na fabricação. Portanto, antes que o MERLIN seja usado, a amplificação deve ser verificada e o valor de D corrigido. Para fazer isso, o instrumento é apoiado com a sonda em uma superfície lisa e a posição do ponteiro cuidadosamente marcada no gráfico. A sonda é então levantada e um bloco de calibração de aproximadamente 6 mm de espessura colocado sob a sonda. A nova posição do ponteiro está marcada. Se a distância entre as marcas no gráfico for S e a espessura do bloco for T, as medições feitas no gráfico deverão ser multiplicadas pelo factor de escala:

$$\text{Factor de escala} = 10T/S$$

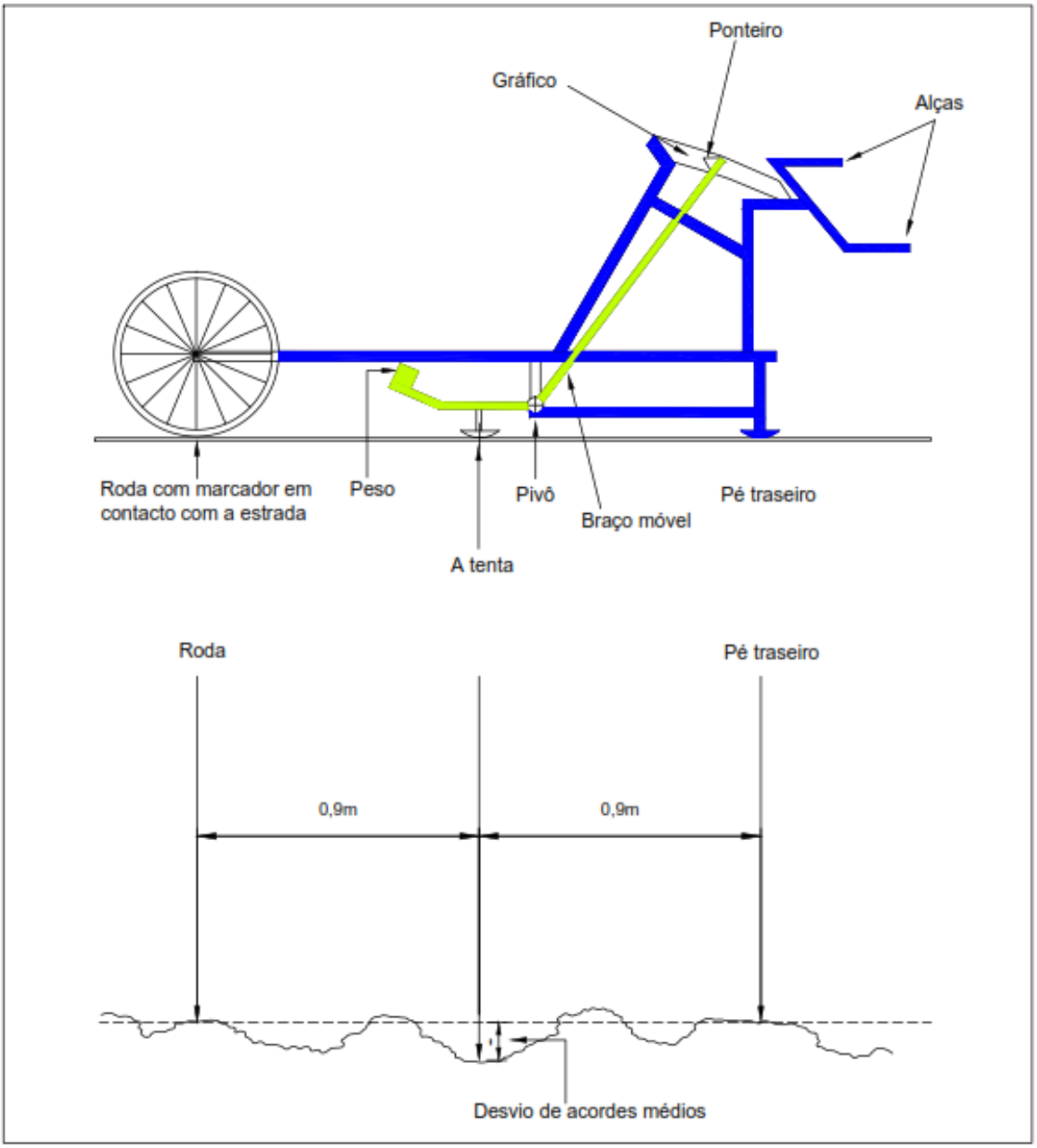


Figura C-1 Operação do Merlin

O factor de amplificação mecânica (do movimento real da sonda para os valores do gráfico) é geralmente de cerca de 10. Ao medir uma estrada muito difícil, essa amplificação pode ser muito grande e resultar em muitas leituras saindo do gráfico de gravação. Para corrigir isso, a posição da sonda pode ser movida para sua posição alternativa no MERLIN. Outro conjunto de furos para identificar esse local já deve existir. Nesta posição alternativa, o factor de amplificação deve ser reduzido para cerca de 5, isto é, um maior número de leituras estará agora dentro do limite do gráfico. Um factor de escala ainda deve ser calculado e aplicado aos resultados, embora a equação precise ser ajustada da seguinte forma:

Factor de escala = 5T/S

C.2.1 Comprimento da secção de ensaio usada na calibração

Se 200 medições (uma em cada revolução da roda) forem feitas usando um MERLIN com uma roda de 680 mm de diâmetro, o comprimento da secção levantada será de 427 metros. Para secções mais curtas ou mais longas, será necessário um procedimento diferente. Os princípios orientadores são:

i) A secção de ensaio deve ter no mínimo 200 metros de comprimento.

ii) Aproximadamente 200 leituras devem ser feitas por gráfico. Com menos de 200 leituras, a precisão diminuirá e, com mais, o gráfico ficará desordenado. Se o número de leituras for diferente de 200, o número de cruzes contadas de cada extremidade da distribuição, para determinar D, também precisará ser alterado. Deve ser 5% do total de cruzes, 9 cruzes para 180 leituras, 11 para 220 leituras, etc.

iii) Ao fazer medições, um marcador na roda deve ser usado para indicar onde fazer a medição, por ex. toda vez que o marcador estiver em contacto com a estrada. Isso não só evita erros devido a qualquer variação no raio da roda, mas também evita o desequilíbrio do operator.

iv) Medições com espaçamento regular devem ser feitas ao longo de toda a extensão da secção de ensaio. Isso dá o resultado mais representativo.

v) Se tomar medidas repetidas ao longo de uma secção, tente evitar fazer leituras nos mesmos pontos em passagens diferentes. Por exemplo, inicie a segunda série de medições a meio metro de onde a primeira série foi iniciada. Por exemplo, para uma secção de ensaio de 210 metros, as medições poderiam ser feitas em duas passagens, levando uma leitura a cada revolução da roda e definindo a segunda passagem em meio metro. Ou as medições podem ser feitas em uma passagem, fazendo uma medição a cada meia volta da roda.

C.3 Medições de rugosidade da estrada usando um RTRRMS

Quando forem necessárias medições de rugosidade em mais de algumas secções curtas da estrada, recomenda-se um RTRRMS. As principais vantagens desses tipos de sistema são seu baixo custo relativo e a alta velocidade de colecta de dados. Os sistemas são capazes de realizar levantamentos a velocidades de até 80 km/h, portanto, centenas de quilómetros de estrada podem ser medidos em um dia.

A unidade *Bump Integrator* (BI) é um dispositivo de medição de rugosidade do tipo resposta que é montado num veículo. O instrumento mede a rugosidade em termos do movimento cumulativo unidireccional entre o eixo traseiro e o chassi de um veículo em movimento. O sistema de BI é composto por uma unidade integradora de impacto, uma unidade de contador com 2 monitores, cabos de ligação e um kit de instalação opcional. O sistema é alimentado pela bateria de 12 volts do veículo.

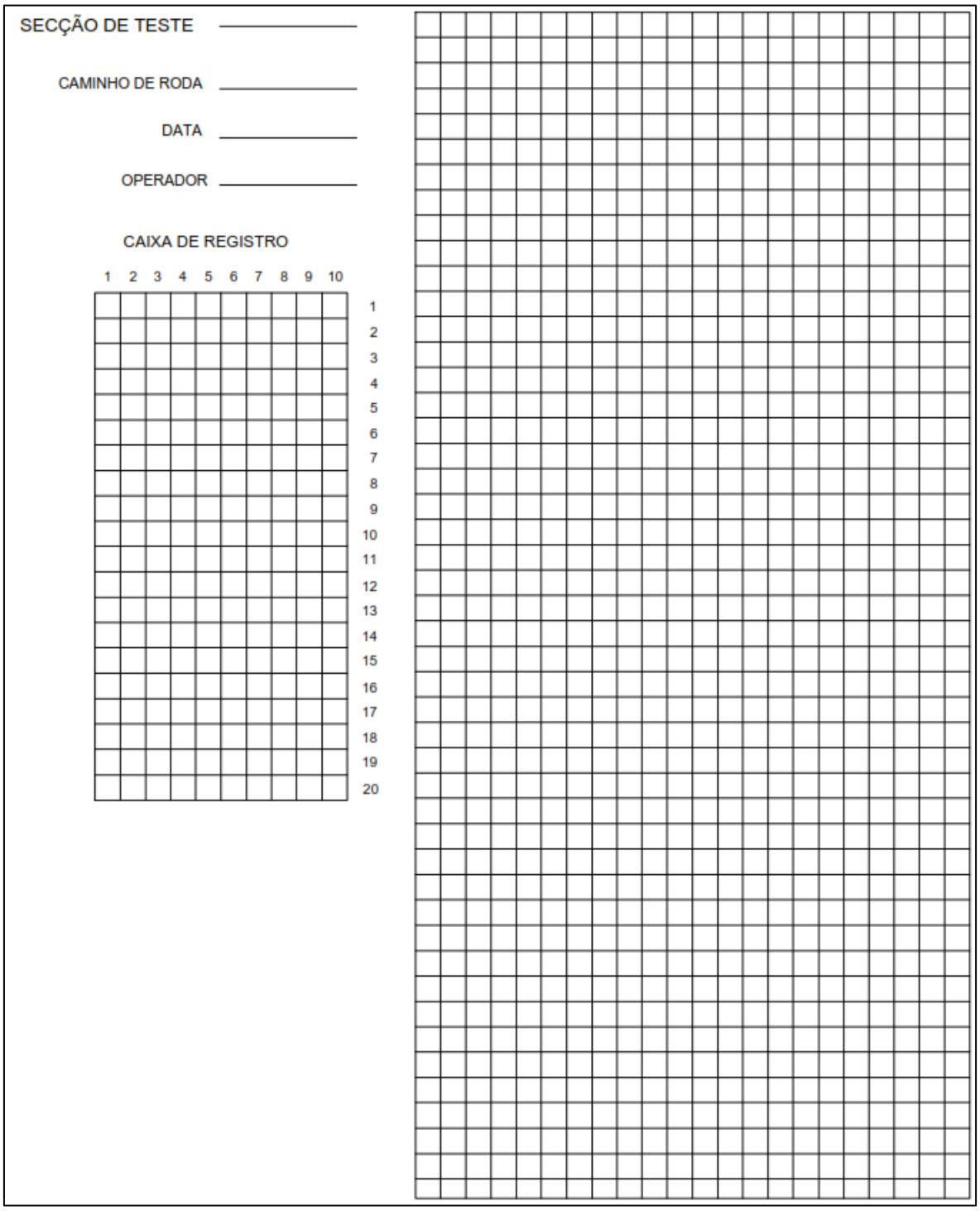


Figura C-2 Folha de dados Merlin

C.3.1 Montagem da unidade de BI

A unidade de BI é montada em um veículo de tracção traseira, como mostrado na Figura C-3. A unidade é aparafusada ao painel traseiro do veículo, directamente acima do centro do eixo traseiro. Um furo de 25 mm precisa ser cortado no piso e um suporte ou gancho fixo no centro do alojamento do diferencial do eixo traseiro.

Antes de cada levantamento, o cabo de metal flexível do tambor cilíndrico da unidade de BI é passado através do orifício no chão e enganchado no suporte no eixo traseiro. Este cordão não deve tocar nas laterais do poço. A tensão no cabo é mantida por uma mola de retorno dentro do tambor da unidade de BI. A unidade de BI mede o movimento unidireccional, em centímetros, entre o chassi do veículo e o eixo enquanto o veículo é conduzido ao longo da estrada. Isso é exibido em uma caixa do contador, normalmente fixada na fáscia do passageiro da frente.

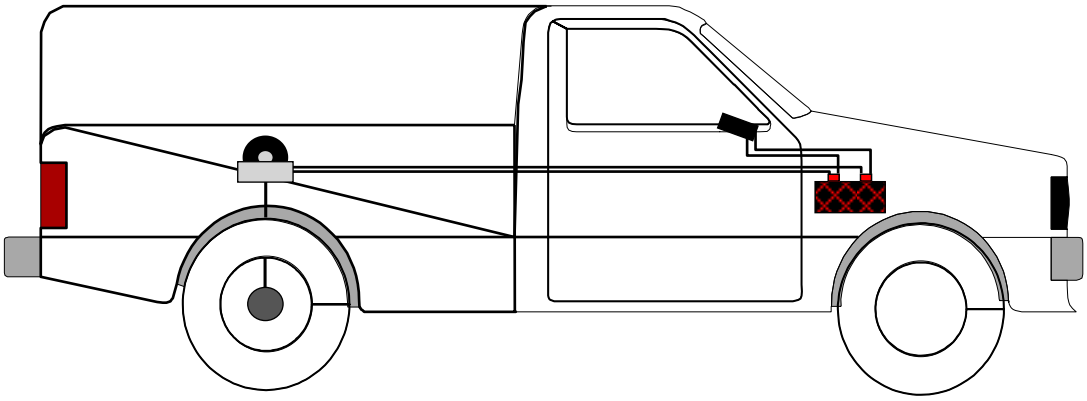


Figura C-3 Representação diagramática da unidade integradora montada num veículo

C.3.2 Procedimento de pesquisa

i) Um ambiente de trabalho seguro deve ser mantido em todos os momentos. Muitas organizações têm procedimentos de segurança no local que devem ser seguidos. Como o veículo pode estar a mover-se mais lentamente do que a maioria do tráfego, deve estar claramente sinalizado e equipado com luzes intermitentes.

ii) O veículo deve estar bem conservado e em bom estado de funcionamento. As rodas devem estar devidamente equilibradas e a geometria da direcção correctamente alinhada. Os pneus não devem ter pontos achatados ou devem ser usados indevidamente. As pressões dos pneus devem ser mantidas precisamente de acordo com as especificações do fabricante. A carga no veículo deve ser constante. Idealmente, o veículo deve conter apenas o motorista e o observador, e nenhuma outra carga deve ser transportada.

iii) O motor e o sistema de suspensão devem estar totalmente aquecidos antes de as medições começarem. Isto pode ser conseguido dirigindo o veículo por pelo menos 5 km antes do início das medições.

iv) O cabo de tensão da unidade de BI para o eixo só deve ser conectado durante o levantamento. Em todos os outros momentos, o cabo deve ser desconectado para interromper o desgaste desnecessário da unidade de BI. Ao prender o cabo ao eixo traseiro, o cabo deve ser pré-tensionado girando a polia do BI 2,5 voltas no sentido anti-horário. O fio é então enrolado em torno da polia 2 voltas na mesma direcção da seta. Nota: a polia NÃO deve ser girada no sentido horário ou repentinamente liberada após ser tensionada, pois o mecanismo interno da mola pode ser danificado.

v) Quando as medições estiverem a ser realizadas, o veículo deve ser conduzido em velocidade constante, evitando aceleração, desaceleração e mudanças de marchas. Isso é necessário porque a resposta do veículo a um determinado perfil varia com a velocidade. Para reduzir os erros de reprodutibilidade, é melhor operar o RTRRMS a uma velocidade padrão de 80 km/h. No entanto, se esta velocidade não for segura por razões de tráfego, pedestres ou geometria de estrada restritiva, uma velocidade menor de 50 ou 32 km/h pode ser usada. É comum usar a mesma velocidade de operação para todas as pesquisas. A calibração deve ser realizada nesta velocidade de operação.

vi) Para levantamentos gerais, recomenda-se que as leituras sejam registadas em intervalos de meio quilómetro. Essa distância deve ser medida com um odómetro de precisão. O uso dos postes do odómetro ou quilómetro do veículo não é recomendado para fins de pesquisa.

vii) Existem dois contadores na unidade de gravação, conectados por um comutador. Isso permite que o observador active a chave no final de cada intervalo de medição, de modo que a leitura possa ser gravada manualmente enquanto o outro contador está funcionando. O primeiro contador pode então ser reajustado para zero pronto para a próxima troca. Também está disponível um software que regista automaticamente os dados de rugosidade, a velocidade do veículo e as distâncias no formato de planilha.

viii) O tipo de pavimentação da estrada também deve ser registado para auxiliar futuras análises dos dados. Após a conclusão do levantamento, o fio deve ser desconectado do eixo traseiro.

ix) As contagens medidas pelo BI são em unidades de centímetros acumulados de movimento unidireccional do eixo traseiro. Após o levantamento, estes devem ser convertidos para mm/km (os valores de rugosidade de resposta do veículo, VR) usando a seguinte equação.

$$VR = \frac{\text{contagem de BI} \times 10}{\text{Comprimento da secção (km)}}$$

Onde VR = Resposta do Veículo (mm/km)
BI = Número de contagens por secção (cm)

x) Os valores de rugosidade de resposta do veículo devem então ser convertidos em unidades de IRI estimado, E [IRI], usando uma calibração que é exclusiva para o RTRRMS naquele momento. Os resultados de um levantamento típico em termos de E [IRI] são mostrados na Figura C-4.

C.4 Calibração de um RTRRMS

O RTRRMS deve ser calibrado regularmente em relação a um instrumento como o MERLIN. Esta calibração deve ser realizada preferencialmente antes do levantamento e verificada em locais de 'controlo' durante o período de pesquisa para assegurar que o RTRRMS permaneça dentro da calibração. A calibração do RTRRMS precisará de ser

novamente verificada antes de qualquer levantamento subsequente ou após qualquer parte da suspensão do veículo ser substituída.

O exercício de calibração envolve a comparação dos resultados do RTRRMS e do instrumento de calibração em várias secções curtas da estrada. A relação obtida por esta comparação pode então ser usada para converter os resultados da pesquisa RTRRMS em unidades de E [IRI]. A prática recomendada para calibração de rugosidade é descrita abaixo.

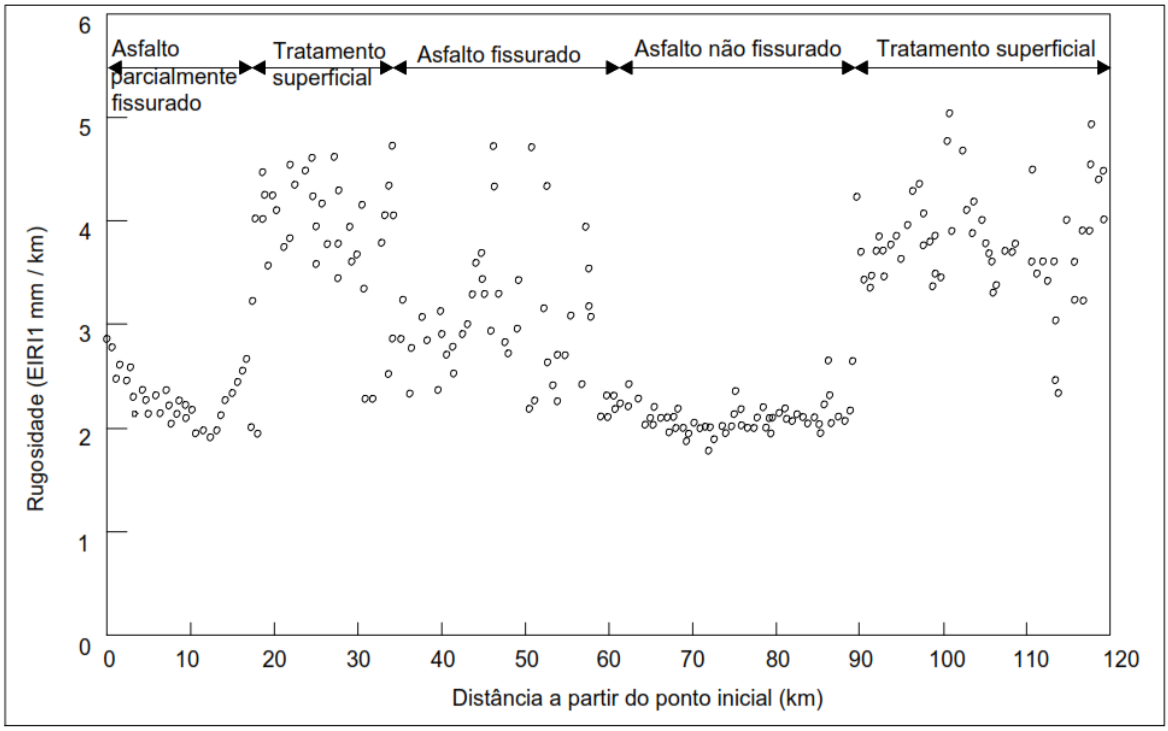


Figura C-4 Um exemplo de um levantamento de rugosidade

Um mínimo de oito secções deve ser seleccionado com diferentes níveis de rugosidade que abranjam a faixa de rugosidade da rede rodoviária. Os locais de calibração devem estar em estradas com características similares (ou seja, estradas revestidas ou não pavimentadas) à aquelas que estão a ser pesquisadas. As secções devem ter um comprimento mínimo de 200m e devem ter uma rugosidade uniforme em relação ao comprimento. Na prática, pode ser difícil encontrar secções longas e homogêneas em estradas muito irregulares. Neste caso, é melhor incluir uma secção mais curta do que omitir locais de alta rugosidade da calibração. As secções devem ser rectas e planas, com comprimentos adequados de desaceleração e desaceleração, e não devem ter riscos, como junções, para que o veículo possa trafegar em linha recta a uma velocidade constante em toda a secção.

A rugosidade de cada secção deve ser medida pelo RTRRMS na mesma velocidade de veículo a ser usada para a pesquisa geral. O valor de VR (mm/km) deve ser o valor médio de pelo menos três execuções de ensaio.

O instrumento de calibração deve medir a rugosidade em ambas trajectórias das rodas. A média desses valores de IRI (em m/km) é então plotada em relação à resposta do veículo para cada uma das secções de ensaio. A equação de calibração para o RTRRMS é então derivada calculando a melhor linha de ajuste para os pontos. Esta relação

geralmente tem uma forma quadrática, mas também pode ser logarítmica, dependendo das características da suspensão de veículos e os níveis de rugosidade sobre os quais o RTRRMS está sendo calibrado.

$$E[IRI] = a + b\,VR + c\,VR^2$$

Onde	E[IRI]	=	IRI estimado (m / km)
	VR	=	VR = resposta do veículo (mm / km)
	a, b e c	=	Constantes

A equação de calibração pode então ser usada para converter dados do RTRRMS em unidades de E [IRI]. Um exemplo de uma curva de calibração é mostrado na Figura C-5.

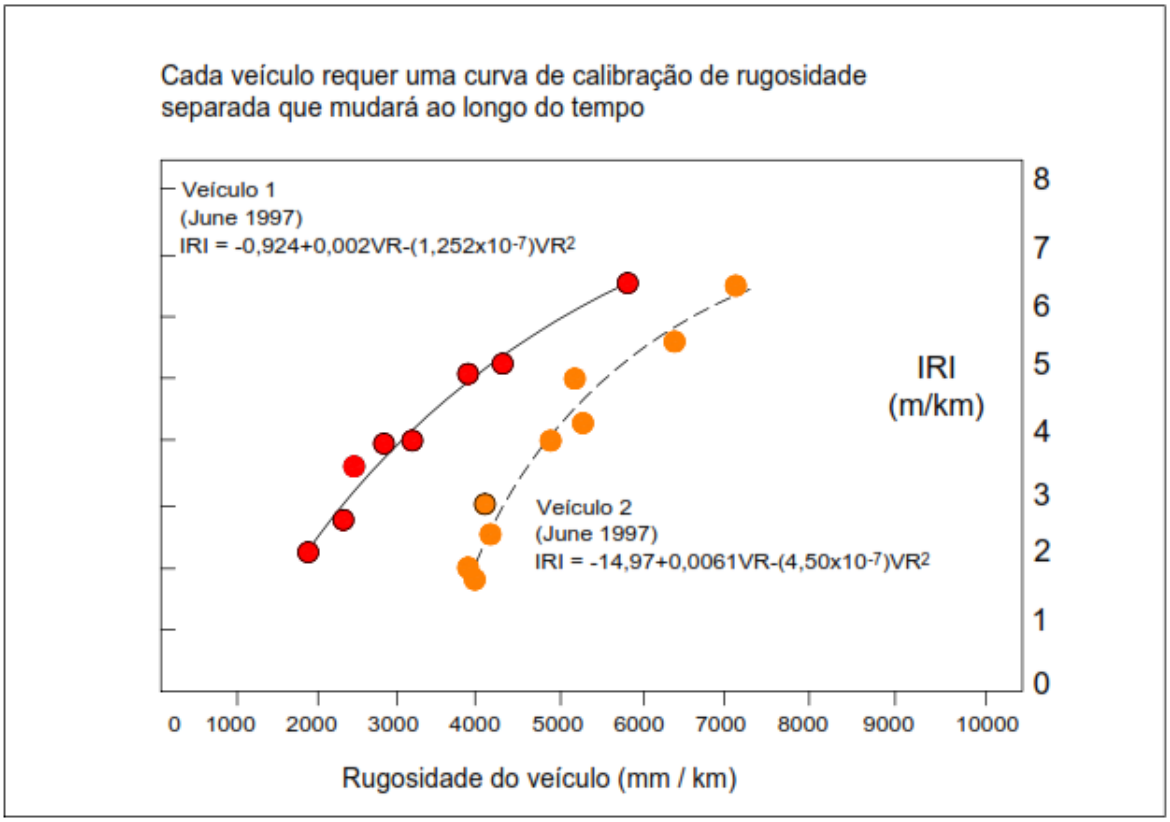


Figura C-5 Exemplo de uma calibração RTRRMS

Apêndice D

Medidas de Deflexão

Apêndice D Medidas de Deflexão

D.1 Introdução

A integridade estrutural de um pavimento pode ser avaliada de forma rápida e eficiente aplicando uma carga na superfície do pavimento e medindo a deflexão resultante. As numerosas técnicas de medição de deflexão de pavimentos actualmente em uso podem ser categorizadas de acordo com as características de carga aplicadas. Medir a deflexão da superfície do pavimento sob uma carga estática ou lenta (Viga Benkelman, Deflectógrafo) representa a abordagem de primeira geração. A próxima geração envolveu a aplicação de uma carga vibratória dinâmica (Road Rater e Dynaflect). O equipamento de deflexão de terceira geração (*Falling Weight Deflectometer*) simula o efeito de uma carga de roda móvel pela aplicação de uma carga dinâmica de impulso. O equipamento futuro tentará medir as deflexões causadas por uma carga real da roda movendo-se nas velocidades da estrada.

As duas técnicas mais comuns usadas para medir desvios de pavimento são a viga Benkelman e o *FWD*. Este apêndice descreve o equipamento, procedimentos para seu uso e orientação sobre a interpretação dos resultados.

D.2 Viga de deflexão (Viga Benkelman)

D.2.1 Geral

Este é o instrumento menos caro para medir desvios, originalmente concebido por A. C. Benkelman. É um dispositivo mecânico que mede a deflexão máxima de um pavimento de estrada sob as duas rodas traseiras de um camião carregado lentamente em movimento. A viga consiste em uma viga articulada delgada, com aproximadamente 3,7 m de comprimento, apoiada numa estrutura baixa que fica na estrada. a estrutura é montada com um leitor para registar o movimento numa extremidade da viga articulada, a outra extremidade é colocada na superfície da estrada. Isso é ilustrado na Figura D-1.

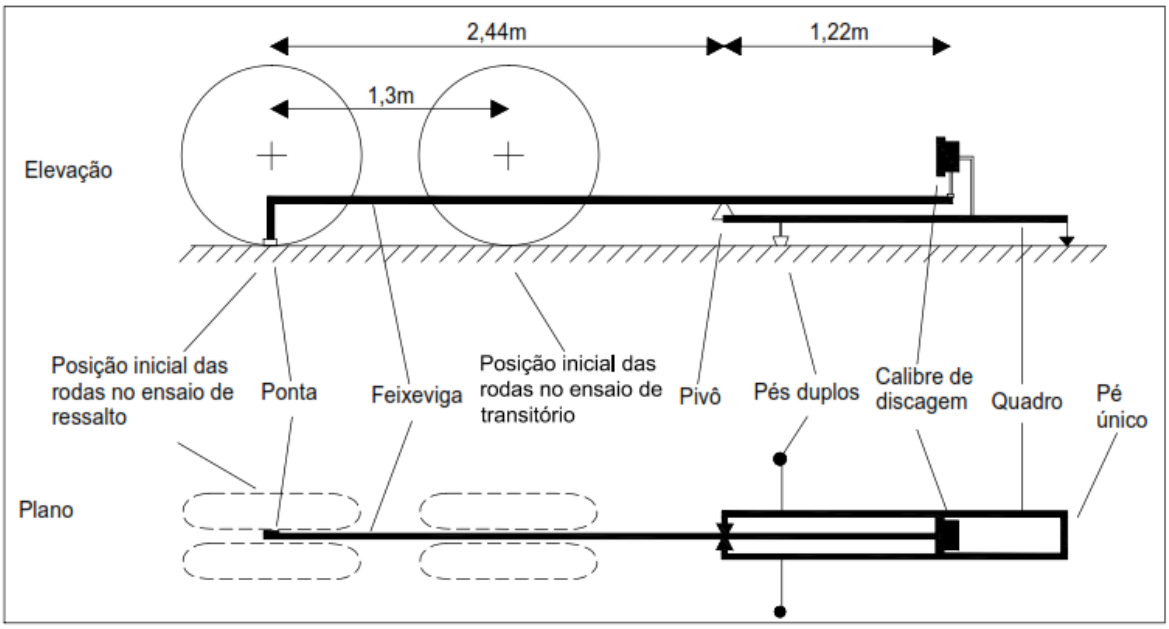


Figura D-1 Representação diagramática da viga Benkelman

D.2.2 Procedimento de ensaios com a viga de deflexão

O ensaio de deflexão pode ser realizado tomando-se apenas medições na parte exterior da trajectória das rodas, porque este geralmente é o ponto mais fraco, pois tem menos apoio lateral e maiores teores de humidade nas camadas granulares inferiores em comparação com a parte interior da trajectória das rodas. Contudo, se não é evidente que os desvios medidos na parte exterior da trajectória das rodas são consistentemente mais elevados do que no percurso interior da roda, as medições da viga de deflexão devem ser feitas tanto na via lenta nas faixas de rodagem duplas nas duas vias de uma faixa de rodagem simples. Executar ensaios de deflexão nas duas trajectórias das rodas não aumenta significativamente o tempo de ensaio, pois ambas vias são testados simultaneamente.

Os ensaios podem ser feitos em qualquer frequência ao longo da estrada, mas quando medições são necessárias em intervalos regulares próximos (digamos, 10 ou 25 metros) é geralmente mais económico usar um dos dispositivos de deflexão mais sofisticados, como o FWD ou o Deflectógrafo.

Ao usar medições de viga de deflexão manual, recomenda-se que a seguinte estratégia seja adoptada.

i) Os ensaios são realizados num padrão básico de espaçamento de 50 ou 100 metros.

ii) Ensaios adicionais devem ser realizados em quaisquer áreas que apresentem depressão superficial atípica.

iii) Quando um valor de deflexão indica a necessidade de uma cobertura significativamente mais espessa do que a necessária para a secção adjacente, a extensão da estrada envolvida deve ser determinada por ensaios adicionais.

D.2.3 Cronometragem ensaios de deflexão

Em alguns casos, o teor de humidade do pavimento da estrada, especialmente o leito, muda sazonalmente. Nestas circunstâncias, os ensaios devem ser realizados no final da estação das chuvas, quando a estrada está mais fraca, e a deflexão é maior.

D.2.4 Detalhes do camião de ensaio

O camião deve ter rodas traseiras duplas e deve ser carregado para uma carga de eixo traseiro padrão, se possível. A carga do eixo deve, em qualquer caso, ser registada, porque as correcções relacionadas à carga das leituras podem ser necessárias. Várias autoridades recomendam o uso de uma carga de 80 kN no eixo traseiro (um eixo padrão), embora a TRL recomende o uso de uma carga no eixo traseiro de 63,2 kN. Neste intervalo de cargas, a deflexão máxima é geralmente linearmente relacionada à carga aplicada. Portanto, os valores de deflexão podem ser medidos em cargas mais altas em pavimentos estruturalmente adequados, onde o excesso de tensão não é um perigo e, em seguida, normalizado para uma carga padrão para fins de comparação. É importante que o método de ensaio e as condições de ensaio sejam compatíveis com os critérios de deflexão e procedimentos de projecto adoptados.

D.2.5 Métodos de Ensaio

Existem dois métodos básicos de ensaio comummente usados para a viga de deflexão. Estes são o ensaio de deflexão transitória e o *ensaio de ressalto*.

D.2.6 Ensaio de deflexão transiente

Neste ensaio, a ponta da viga é inserida entre o conjunto da roda traseira dupla do camião carregado. O manómetro é ajustado para zero e o camião, então, avança lentamente. À medida que as rodas se aproximam da ponta da viga, a superfície da estrada desvia-se para baixo (desvio da carga) e o movimento é registado pelo manómetro. À medida que as rodas se afastam da ponta da viga, a superfície da estrada recupera (deflexão de recuperação) e a leitura do relógio comparador retorna a aproximadamente zero. O procedimento de ensaio é resumido abaixo.

i) Marque o ponto, na parte externa da trajectória das rodas, no qual a deflexão deve ser medida e posicione o camião de modo que as rodas traseiras fiquem a 1,3 m do ponto marcado.

ii) Insira a viga de deflexão entre as rodas traseiras gémeas até que a sua ponta de medição repouse sobre o ponto marcado. Se os desvios devem ser medidos em ambas vias, insira uma segunda viga entre as rodas exteriores. É útil para posicionar o camião e alinhar as vigas se um ponteiro estiver fixado ao camião a 1,3 m à frente de cada par de rodas traseiras.

iii) Ajuste os parafusos do pé na estrutura da viga para garantir que a estrutura esteja nivelada transversalmente e que o braço articulado esteja livre para se mover. Ajuste o comparador para zero e ligue a campainha. Registar a leitura do medidor de discagem que deve ser zero ou algum pequeno número positivo ou negativo.

iv) A leitura máxima e final do calibrador deve ser registada enquanto o camião é movido lentamente para a frente até um ponto de pelo menos 5 m à frente do ponto marcado. A campainha deve permanecer ligada até a leitura final ser feita. Cuidado deve ser tomado para garantir que uma roda não toque na viga. Em caso afirmativo, o ensaio deve ser repetido.

v) A deflexão transitória é a média das deflexões de carga e recuperação. Devido à relação de 2: 1 da geometria da viga sobre o ponto de articulação (consulte a Figura D-1), a deflexão transitória é calculada por:

- adicionar a diferença entre as leituras iniciais e máximas do medidor de discagem à diferença entre as leituras máximas e finais do medidor de discagem, ou
- calcular a deflexão de carga (o dobro da diferença entre os valores inicial e máximo) e a deflexão de recuperação (duplicar a diferença entre as leituras máxima e final) e, em seguida, calcular a média das duas deflexões.

Note que nem todos as vigas comercialmente disponíveis têm uma relação de 2: 1 e isso, portanto, precisa ser levado em consideração. [Pelo menos um fabricante também forneceu medidores de mostrador que leram a deflexão correcta (ou seja, suas escalas já incorporam o factor de escala). Esses leitores são perigosos porque poderiam ser facilmente usados para outra finalidade e, então, darão a resposta errada.]

Pelo menos dois ensaios devem ser realizados em cada local e o valor médio usado para representar o resultado do ensaio transiente. Se os resultados dos dois ensaios não estiverem dentro dos limites de repetibilidade descritos na Tabela D-1, então um terceiro ensaio deve ser realizado.

Tabela D-1: Repetibilidade de ensaios de deflexão transitória duplicados

Deflexão média (mm)	Diferença máxima permitida entre os dois ensaios (mm)
< 0,10	0,02
0,10 – 0,30	0,03
0,31 – 0,50	0,04
0,51 – 1,00	0,05
> 1,00	0,06

D.2.7 Ensaio de deflexão de ressalto

Este é provavelmente o método mais vulgarmente utilizado que, embora não seja tão abrangente como o método transiente, permite uma maior taxa de produção com menor necessidade de medições repetidas (por exemplo, devido ao pneu tocar no viga quando os ponteiros não são usados no camião). Como a deflexão de ressalto pode ser influenciada pelo tempo durante o qual as rodas de carga estão estacionárias sobre o ponto de ensaio, é preciso ter cuidado com o procedimento exacto usado. Por exemplo, se estiver sendo usado com critérios de deflexão desenvolvidos usando procedimentos de ressalto, o procedimento de ensaio de deflexão deve ser idêntico àquele usado durante o desenvolvimento das curvas de dimensionamento.

Para o ensaio de deflexão de ressalto, as rodas duplas são posicionadas imediatamente acima do ponto de ensaio e a ponta de medição da viga é colocada no ponto de ensaio e entre as rodas duplas. A viga é ajustada da mesma forma que para o ensaio transitório e, após a leitura inicial, o camião é movido para a frente a uma velocidade lenta até as rodas estarem suficientemente afastadas para não influenciar a viga de deflexão. A leitura final do leitor é registada e a deflexão de ressalto é o dobro da diferença entre as leituras inicial e final do leitor.

Qualquer que seja o método adoptado para as medições da viga de deflexão, o possível efeito do fluxo de plástico sobre os resultados deve ser observado, embora isso seja provavelmente significativo para os asfaltos mais espessos e relativamente frescos. Quando um material de revestimento betuminoso flui plasticamente, ele se aperta para cima entre as rodas de carga dupla do camião de deflexão. No ensaio de deflexão transitória, isso reduz a deflexão de carga transitória porque o movimento ascendente do material neutraliza o movimento descendente do pavimento. A deflexão de recuperação transitória que é medida pode estar correcta, mas pode ocorrer mais movimento plástico do material de revestimento elevado durante o tempo que leva para as rodas se moverem do ponto de ensaio para a posição final. Isso causa um erro na leitura da deflexão de recuperação. Geralmente é muito claro a partir dos resultados do ensaio quando o fluxo de plástico ocorre e o ensaio deve ser interrompido para evitar o registo de dados errados.

No ensaio de ressalto, um maior fluxo de plástico será induzido em materiais susceptíveis, devido ao tempo que as rodas permanecem estacionárias sobre o ponto de ensaio. Quando o camião é conduzido para a frente, a superfície da estrada ressalta, mas pode ocorrer uma recuperação indeterminada do material de revestimento deslocado. Não há, portanto, uma indicação clara do ensaio de ressalto simples quando ocorre o fluxo de plástico e esta é a principal razão pela qual não é recomendado pela TRL para países com climas tropicais.

D.2.8 Análise dos dados do ensaio de deflexão

As leituras de deflexão podem ser afectadas por vários factores que devem ser levados em consideração antes que os resultados possam ser interpretados. Estas são a temperatura da estrada, o fluxo de plástico da superfície entre as rodas de carga, efeitos sazonais e o tamanho da bacia de deflexão.

D.2.8.1 *Temperatura da estrada*

A rugosidade dos revestimentos betuminosos mudará com a temperatura e, portanto, a magnitude da deflexão também pode mudar. A temperatura do revestimento betuminoso é registada quando a medição da deflexão é efectuada, permitindo assim que o valor da deflexão seja corrigido para uma temperatura padrão. Recomenda-se que 35°C, medido a uma profundidade de 40mm do revestimento, seja uma temperatura padrão adequada. Felizmente, muitas vezes é constatado que pouca ou nenhuma correcção é necessária quando o revestimento da estrada é tanto antiga ou endurecida, ou relativamente fina.

Não é possível produzir curvas gerais de correcção para cobrir todas as estradas, portanto, é necessário estabelecer a relação de deflexão/temperatura para cada projecto. Isso é obtido registrando-se a mudança na deflexão em uma série de pontos de ensaio à medida que a temperatura da superfície aumenta de manhã até o meio-dia.

D.2.8.2 *Efeitos sazonais*

Em áreas onde o teor de humidade do leito muda sazonalmente, a deflexão também mudará. Para fins de projecto de revestimento, é comum usar valores que sejam representativos das condições sazonais mais adversas e, portanto, é prática comum realizar pesquisas imediatamente após a estação chuvosa ou até o final. Se isso não puder ser feito, uma tentativa deve ser feita para corrigir o efeito sazonal. No entanto, isso requer um banco de dados considerável de resultados de deflexão e registos de precipitação antes que correcções confiáveis possam ser feitas.

D.2.8.3 *Tamanho da bacia de deflexão*

O tamanho da bacia de deflexão pode ocasionalmente ser tão grande que os pés dianteiros da viga de deflexão ficam dentro da bacia no início do ensaio de deflexão transitória. Se isso acontecer, a deflexão de carga e recuperação será diferente. A maneira mais simples de verificar se as diferenças na deflexão de carga e recuperação são causadas pelo tamanho da bacia é colocar a ponta de outra viga próxima aos pés dianteiros do viga de medição no início do ensaio de transiente. Este segundo viga pode ser usado para medir qualquer movimento subsequente dos pés do primeiro viga à medida que o camião avança. Se movimentos dos pés maiores que 0,06 mm forem observados, somente a parte de recuperação do ciclo de deflexão deverá ser usada para estimar o valor da deflexão transitória.

D.2.8.4 *Processamento de dados*

Após todas as medições terem sido feitas e quaisquer correcções aplicadas aos dados brutos, é conveniente traçar o perfil de deflexão da estrada para cada via (um gráfico de desempenho). Quando as medições nos dois percursos das rodas tiverem sido feitas, somente a deflexão maior de qualquer dos percursos das rodas em cada cadeia é usada. Quaisquer áreas que apresentem deflexões excepcionalmente altas que possam necessitar de reconstrução ou tratamento especial podem ser identificadas.

O perfil de deflexão é usado para dividir a estrada em secções homogêneas de modo a minimizar variações nas deflexões dentro de cada secção. O comprimento mínimo destas secções deve ser compatível com a frequência dos ajustes de espessura que podem ser feitos de maneira sensata pela máquina de pavimentação, mantendo níveis satisfatórios. Ao seleccionar as seções, a topografia, o tipo de leito, a construção do pavimento e o histórico de manutenção devem ser considerados (ver Capítulo 8).

Várias técnicas estatísticas podem ser usadas para dividir os dados de deflexão em secções homogêneas. A técnica recomendada é o método da soma cumulativa, onde as parcelas das somas cumulativas de desvios da deflexão média contra a cadeia podem ser usadas para discernir as secções.

D.3 Deflectómetro de Impacto Pesado (FWD)

D.3.1 Geral

O Deflectómetro de Impacto Pesado (FWD) simula o efeito das cargas reais induzidas pelo tráfego, largando um peso constante na superfície do pavimento a partir de alturas variáveis. A Figura D-2 ilustra um diagrama. O FWD é geralmente colocado em num semi-reboque e equipado com sua própria fonte de energia (gerador/baterias). Ele pesa cerca de 1 tonelada (1,5 tonelada para a versão maior do aeroporto) e pode transitar confortavelmente em estradas revestidas a 100 km/h. Uma roda de medição de distância também é anexada ao semi-reboque e é usada para localizar as cadeias de ensaio apropriadas durante as pesquisas.

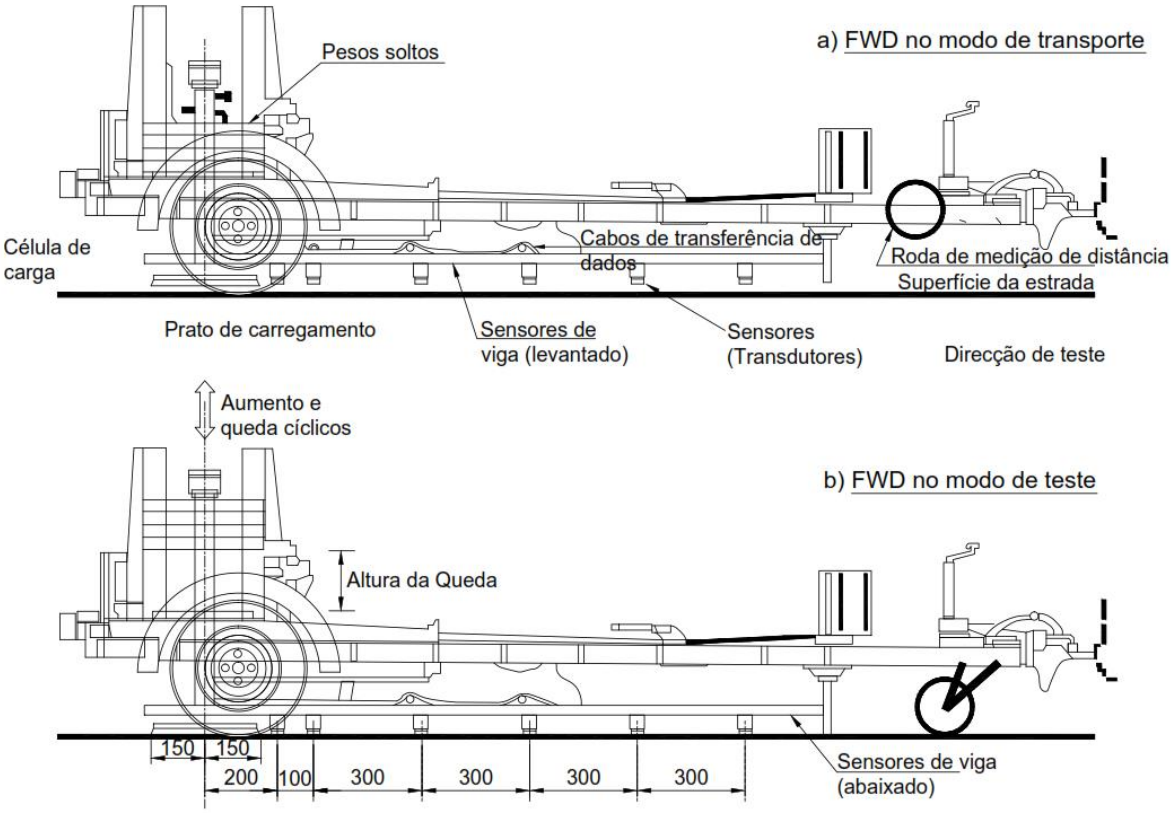


Figura D-2: Representação diagramática do FWD

Vários pesos destacáveis são travados num pistão hidráulico, o que facilita seu levantamento rápido e preciso. Os pesos são depois abandonados a partir de uma altura predeterminada. Uma placa de carga circular e flexível (raio de 150 mm) garante a transferência de carga suave entre os pesos que caem e a superfície potencialmente irregular do pavimento. Uma célula de carga, colocada directamente sob o peso de queda, mede com precisão o nível de carga. As deflexões resultantes da superfície do pavimento são medidas por 7 sensores/transdutores colocados sob uma viga de sensores nos desvios indicados na Tabela D-2. Vários cabos de transferência de dados, também conectados ao viga de sensores, asseguram a comunicação entre os sensores da célula de carga/sensores/FWD e o computador central.

D.3.2 Procedimento de Medição

Estabelecer um sistema de referência de ensaio conciso, mas claro e consistente, antes do início do ensaio é crítico. O sistema de referência deve incluir o seguinte:

a) Informações gerais: data, operador (es), número de série do FWD, identificação da estrada (para ensaios de rede), unidades de medida (métricas/imperiais), início e fim dos locais de ensaio, distância entre os pontos de ensaio adjacentes; espaçamento dos sensores (dependendo da espessura da camada do pavimento);

b) Informação e parâmetros do ponto de ensaio: Número e sequência de quedas (em termos de níveis de carga correspondentes); temperatura do ar, da superfície e em profundidade; tipo, extensão e magnitude dafissuração do pavimento; perfil da estrada (por exemplo, filler/corte, para reflectir a entrada potencial de água); mudança (s) na estrutura do pavimento; e estruturas subterrâneas (por exemplo, bueiros, tubagens, que podem afectar significativamente a magnitude da deflexão).

O número e a sequência de quedas podem ser configurados de forma diferente em até cinco séries. O operador pode aplicar qualquer ou todas essas séries em um ponto de ensaio. Geralmente, uma série de duas gotas (4 toneladas cada) é normalmente aplicada a todos os pontos de ensaio.

Quando a estrada tem um revestimento betuminoso, a deflexão pode mudar à medida que a temperatura da superfície muda. Além disso, quando a bacia de deflexão é usada para estimar os módulos da camada de pavimento, a rigidez da superfície de asfalto precisará ser corrigida para uma temperatura padrão. Portanto, é necessário medir a temperatura da superfície durante o ensaio. Em climas temperados, as medições tomadas a cada hora podem ser suficientes, no entanto, em climas tropicais a temperatura do pavimento aumentará rapidamente durante o meio da manhã e pode atingir uma temperatura na qual a superfície do asfalto está sujeita a deformação plástica durante o ensaio. Isto deve ser cuidadosamente monitorado e as medições de temperatura neste momento crítico do dia podem ser tomadas a cada 15 ou 20 minutos. Quando a superfície do asfalto tiver menos de 150 mm de espessura, a temperatura deve ser medida a uma profundidade de 40 mm. Quando a superfície exceder 150 mm, recomenda-se que as temperaturas sejam registadas em duas profundidades, 40 e 100 mm.

Todas as calibrações relevantes (consulte a próxima secção) devem ser realizadas conforme necessário. Uma grande quantidade de dados de deflexão pode se provar incorrecta e, portanto, inútil se o sistema funcionar mal a qualquer momento.

Enquanto se move entre dois pontos adjacentes, a viga do sensor deve ser elevado, independentemente da velocidade de deslocamento. Uma vez que o FWD parou, o feixe do sensor é baixado junto com a placa de carregamento. O operador insere as informações do ponto de ensaio e, automaticamente, os pesos são elevados e retirados de uma altura de "ensaio" para uma verificação de sistema no local incorporada. Uma vez que o operador esteja satisfeito com os dados de pré-ensaio do sistema, os pesos são automaticamente elevados e retirados de e para a (s) altura (s) predeterminada (s) quantas vezes forem necessárias. Após cada descida, os dados relevantes são enviados para o computador que o exibe. O operador pode interromper a sequência de ensaios automáticos a qualquer momento e reiniciar e/ou continuar manualmente (gota a gota), se necessário.

D.3.3 Calibração

São realizados três tipos de calibração dos sensores, absolutos, de referência e relativos. A calibração absoluta é feita na fábrica no momento da fabricação, enquanto a calibração de referência é normalmente realizada anualmente, também em ambientes fechados, por agentes designados. Os resultados de calibração absoluta e de referência devem ser registados pelos agentes nos certificados de calibração e estar sempre disponíveis para inspecção.

A calibração relativa é geralmente feita mensalmente e/ou no início de cada novo projecto, em aproximadamente 4 horas. Durante esta calibração, os sensores são colocados um em cima do outro e sujeitos a uma carga vertical padrão. Se todos os sensores estiverem em boas condições, suas leituras devem ser quase exactamente iguais.

A calibração relativa é geralmente feita mensalmente e/ou no início de cada novo projecto, em aproximadamente 4 horas. Durante esta calibração, os sensores são colocados um em cima do outro e sujeitos a uma carga vertical padrão. Se todos os sensores estiverem em boas condições, suas leituras devem ser quase exactamente iguais.

Geralmente, nenhuma outra calibração é necessária, mesmo quando o equipamento tem que transitar em estradas irregulares.

D.3.4 Resultado

O resultado de ensaio é armazenada em arquivos de texto específicos no computador e pode ser baixada para um computador de escritório para análise.

D.3.5 Parâmetros da bacia de deflexão

Os dados de deflexão do FWD também podem ser tabulados e plotados para mostrar a variação da resposta do pavimento ao longo da estrada. Certas partes da bacia de deflexão são influenciadas pelas diferentes camadas do pavimento. Com referência à Tabela D-2, os critérios de deflexão escolhidos são usualmente d_1, d_6 e d_1-d_4.

Tabela D-2 Posições recomendadas do sensor

Pavimentos flexiveis	Distância do centro da carga (mm)						
	1	2	3	4	5	6	7
Revestimento de asfalto grosso	0	300	600	900	1200[1]	1500	2100
Superfície asfáltica fina ou revestimento	0	200[1]	300	600	900	1500	1800

Nota 1. Onde apenas 6 sensores estão disponíveis, estas posições serão omitidas.

A deflexão máxima d_1 dá uma indicação do desempenho global do pavimento enquanto a diferença de deflexão (d_1-d_4) se relaciona com a condição da ligação das camadas de pavimento. A deflexão d_6 é um indicador da condição do leito. Um perfil de deflexão típico é mostrado na Figura D-3. Embora os valores reais da deflexão dependam do tipo e condição das camadas do pavimento, tais parcelas mostram diferenças relativas em sua condição e dão uma indicação de quaisquer fraquezas estruturais.

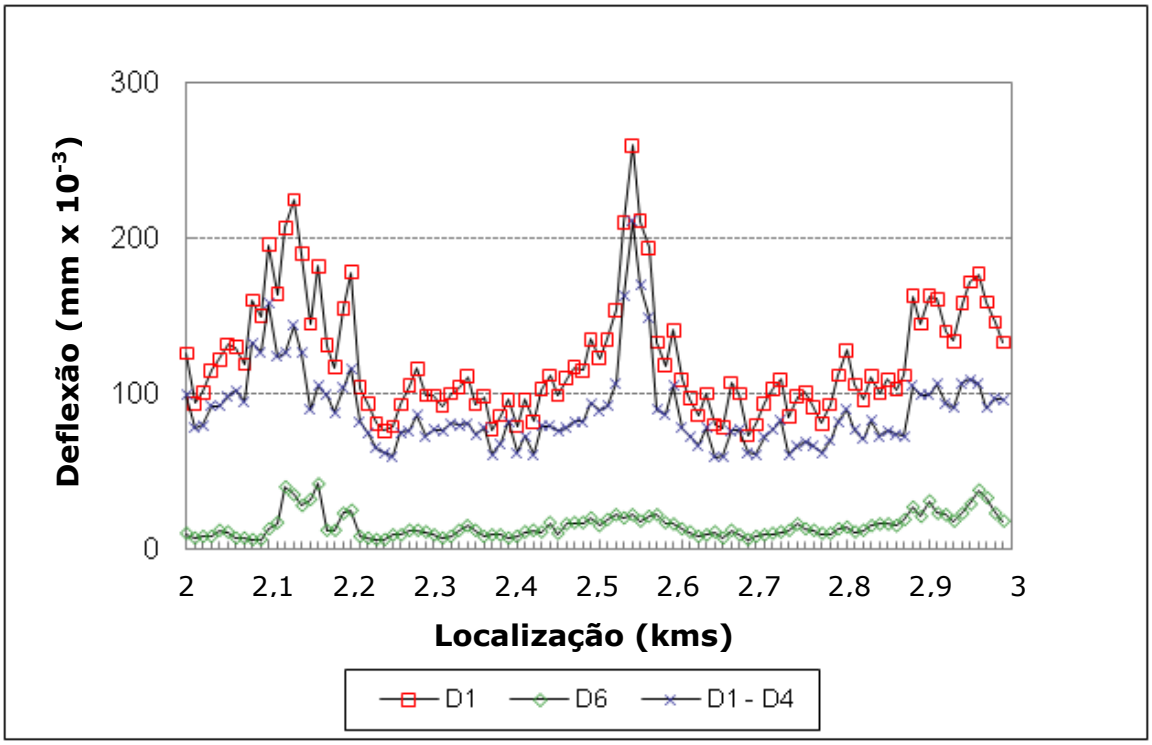


Figura D-3 Perfil de Deflexão FWD

D.3.6 Cálculo de retorno

A análise dos dados da bacia de deflexão depende de um modelo adequado para calcular a resposta do pavimento à carga aplicada. A maioria dos programas de análise baseia-se no pressuposto de que o pavimento se comporta como uma estrutura multicamadas composta de camadas linearmente elásticas. Usando tal modelo, é possível calcular o módulo elástico efectivo de cada camada de pavimento a partir do conhecimento da forma da taça de deflexão. Esse procedimento de "análise reversa" requer dados de deflexão precisos que se estendem da deflexão máxima central até os valores de deflexão em deslocamentos radiais de até 2,5 metros.

No entanto, o modelo elástico linear é um modelo muito simples de pavimentos rodoviários. Os materiais rodoviários exibem uma variedade de propriedades que não atendem às suposições do modelo. Por exemplo, o módulo de elasticidade de materiais não ligados não é uma constante, mas depende das tensões a que o material é submetido em cada ponto da estrutura, isto é, os materiais não são lineares. Este é um problema particular com o leito, porque o módulo do leito tem uma forte influência na forma de toda a bacia de deflexão. Erros ou imprecisões nas suposições aqui, dão origem a erros nos cálculos dos módulos de todas as outras camadas. *Este é um problema muito comum e os engenheiros devem ver os resultados dos programas de cálculo com grande cuidado.*

Uma consideração adicional é a capacidade dos programas para lidar com estruturas complexas. Quanto mais camadas estiverem presentes, mais difícil será para os programas identificarem uma solução exclusiva adequada. Em geral, a aceitabilidade dos resultados geralmente depende muito mais da habilidade do analista do que da sofisticação do programa de análise. O estudo durante o Programa de Pesquisa de Estradas Estratégicas nos Estados Unidos resultou num conjunto de regras e directrizes que podem ser usadas ao estimar os módulos da camada de pavimento por meio de um cálculo retroactivo dos dados da bacia de deflexão. Estes fornecem uma base razoável para a retro-análise de pavimentos rodoviários (FHWA-RD-01-113 (2002). *Cálculo de retorno de parâmetros de camada para secções de ensaio LTPP. Volume II: Análise elástica em camadas para pavimentos flexíveis e rígidos).*

D.4 Pavimentos rígidos

Ensaios de deflexão são usados para medir o grau de transferência de carga nas articulações para avaliar sua condição. O Viga benkelman deve ser posicionado no berma, conforme mostrado na Figura D-4.

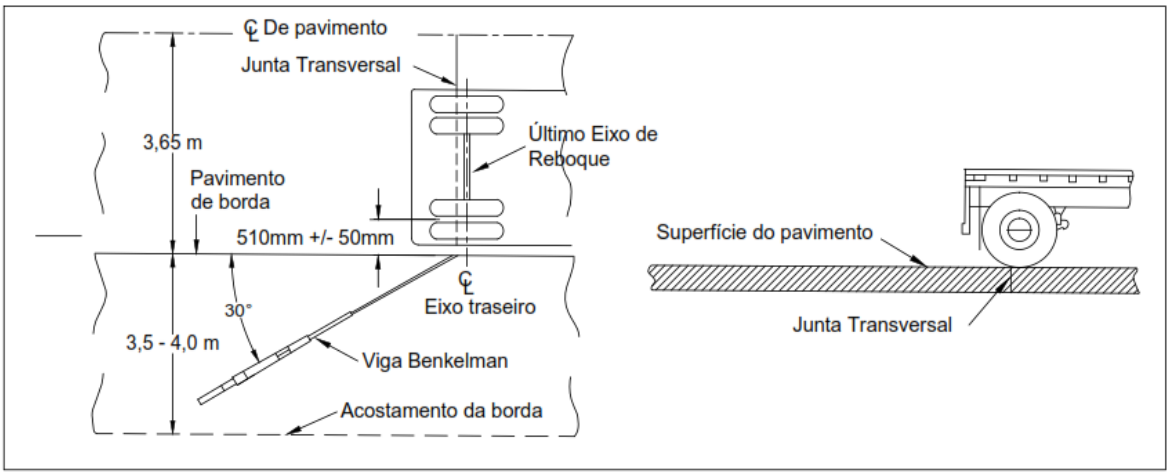


Figura D-4 Posição do veículo e viga enkelman Beam para fazer medições de deflexão de ressalto estático em pavimentos rígidos

As medições devem ser feitas em ambos os lados da articulação ou fissura para determinar a deflexão em ambos os lados da articulação. A proporção é uma medida da eficiência de transferência de carga e deve ser tomada durante as circunstâncias ambientais mais severas, p.e. no final de uma estação chuvosa. Um espaçamento mínimo sugerido é de 100 m, com locais de amostragem mais espaçados onde as secções de corte e filler alternam rapidamente.

Apêndice E

Resistência à Derrapagem

Apêndice E Resistência à Derrapagem

Quando o levantamento detalhado da condição da superfície indica que o revestimento tem uma textura fraca ou agregado polido, geralmente será necessário proceder a uma pesquisa quantitativa . Esta pesquisa pode ser dispensada se a estrada estiver a sofrer de outras deformações que exigem que seja revestida.

E.1 Medições de Profundidade de Textura

A profundidade de textura dos revestimentos betuminosos é medida pelo ensaio de garrafa de areia (BSI, 1990). Existem também outros instrumentos de custo relativamente baixo, como o Medidor de Mini-Textura, que fornece medições contínuas da textura da superfície e são mais rápidos e mais convenientes de usar. No entanto, os resultados dos medidores de textura precisam de ser calibrados contra o ensaio de garrafa de areia se eles devem ser comparados com as especificações. O ensaio de garrafa de areia dá um único valor de textura num ponto e, portanto, um número de ensaios é necessário para dar um valor representativo para a estrada. Isso é feito através da selecção de secções de estrada de 50 metros de comprimento, que cobrem o nível de gravidade do defeito registado durante a pesquisa detalhada da condição. Uma média de dez ensaios, geralmente no lado exterior da trajectória das rodas, deve ser usada para caracterizar cada secção de 50 metros. As secções também devem ser escolhidas em áreas perigosas, como as aproximações e as coroas das curvas. Estes valores podem então ser comparados com os padrões nacionais, onde estes foram estabelecidos, para identificar os comprimentos da estrada que necessitam de revestida.

E.1.1 Ensaio de garrafa de areia

O ensaio de garrafa de areia é descrito em detalhe na BS 598 Parte 105 (1990). O método é resumido abaixo.

Aparelho

i) Cilindro de plástico de 25 ou 50 ml de volume. Para revestimentos com uma profundidade de textura superior a 1 mm (por exemplo, revestimentos superficiais), devem ser utilizados 50 ml de areia. Em superfícies AC onde a textura será geralmente menor que 1mm, o volume de areia deve ser reduzido para 25ml ou menos.

ii) Um disco difusor compreendendo um disco de madeira plana de 64mm de diâmetro com um disco de borracha dura de 1,5mm de espessura, preso a uma face. A face reversa é fornecida com uma alça.

iii) Areia do tipo seco natural, com formato de partícula arredondada, obedecendo a granulometria dada na Tabela E-1.

Tabela E-1 Granulometria da areia

Peneira de ensaio BS (mm)	% por passagem em massa
0,600	100
0,300	90 - 100
0,150	0 - 15

Procedimento

i) Secar a superfície a ser medida e, se necessário, limpar com uma escova.

ii) Encher o cilindro com areia e, tomando cuidado para não compactá-lo, e soltar o nível de areia com a parte superior do cilindro.

iii) Despejar a areia numa pilha na superfície a ser testada e espalhar a areia sobre a superfície, trabalhando o disco com a face mantida plana, em movimento circular de modo que a areia seja espalhada em remendo circular. A garrafa deve ter o maior diâmetro, o que faz com que as depressões superficiais sejam preenchidas com areia até o nível dos picos.

iv) Medir o diâmetro da garrafa para os 2 mm mais próximos em quatro diâmetros a cada 45o e calcular o diâmetro médio (D) para o 1 mm mais próximo.

v) Calcular a profundidade da textura para o valor mais próximo de 0,01mm da seguinte equação.

$$Profundidade\ da\ textura\ (mm) = \frac{1000xVolume\ da\ areia\ (mm)}{Areia\ de\ remendo\ (mm^2)}$$

E.1.2 Padrões

Se não existirem padrões nacionais, os valores de intervenção propostos no Reino Unido podem ser usados como guião. Estes são dados na Tabela E-2.

Tabela E-2 Padrões de profundidade de textura no Reino Unido

Definição	Profundidade da Textura (mm)	
	Betuminosa	Betão
Bom - nenhuma depressão visível	>1	>0,5
Depressão visível, (baixo nível alerta) A depressão não é grave e não precisa de acção, a menos que se estenda por longas distâncias ou possa estar relacionado a acidentes com derrapagens em excesso.	0,5 - 1,0	0,25 - 0,5
Depressão extensivo (nível de aviso alerta), A depressão está a se tornar séria e a incidência de acidentes precisa ser investigada.	<0,5	<0,25

E.2 Dispositivo portátil de Medição de resistência à derrapagem

A micro-textura em termos do valor de "resistência à derrapagem" (SRV) pode ser medida usando o dispositivo portátil de medição de resistência a derrapagem (RRL, 1969) (ASTM, E 303-93). Existem outros instrumentos disponíveis que medem a resistência à derrapagem mais rapidamente (e mais continuamente), por exemplo, SCRIM (Máquina de Investigação de Rotina de Coeficiente de Resistência Lateral), mas estes são relativamente dispendiosos.

Um valor representativo de SRV pode ser obtido de maneira similar àquela descrita para profundidade de textura, com o valor médio de dez resultados sendo usado para caracterizar uma secção de 50 metros de estrada. Estes valores podem então ser comparados com os padrões nacionais, onde foram estabelecidos, para identificar os comprimentos da estrada que necessitam de resselagem.

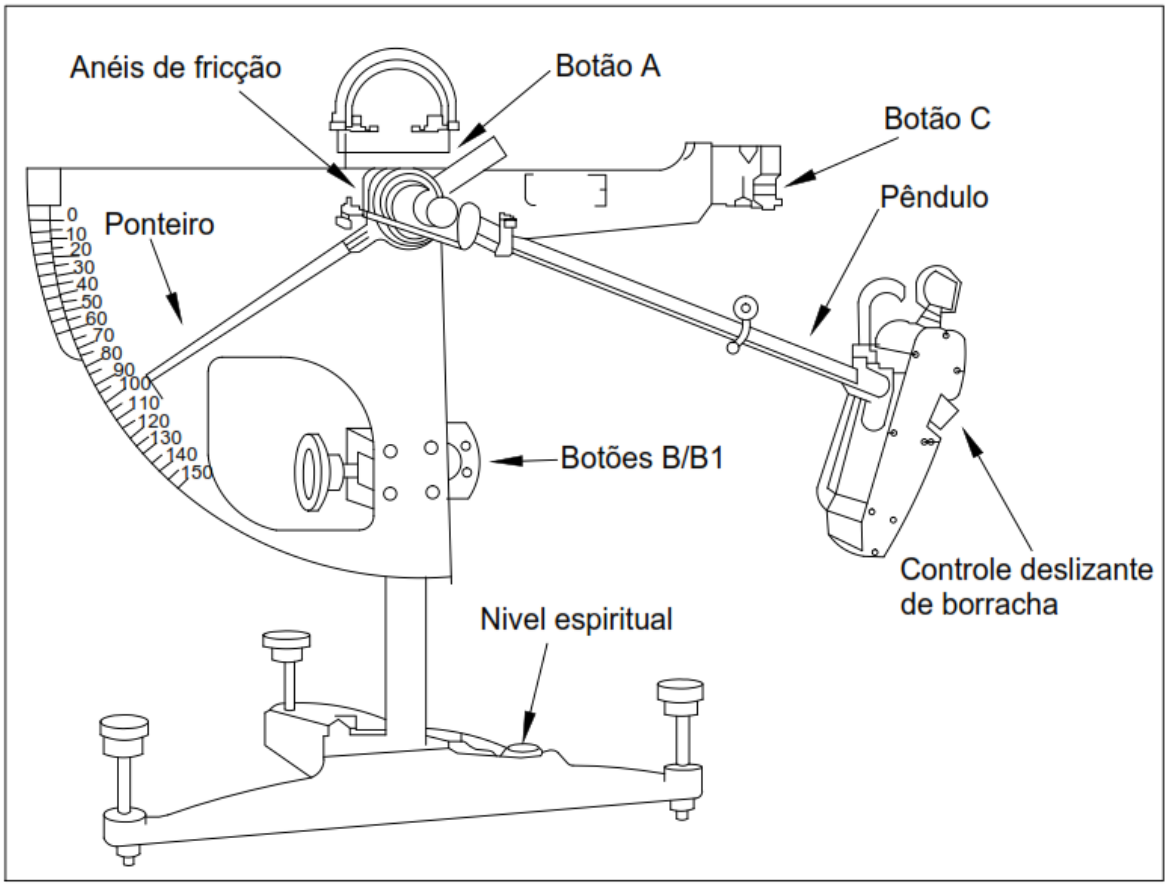


Figura E-1 Dispositivo portátil de Medição de resistência à derrapagem

E.2.1 Método de Ensaio

O dispositivo portátil de medição de resistência a derrapagem, ilustrado na Figura E-1, foi desenvolvido pela *Transport Road Research Laboratory* e é descrito em detalhes na *Road Note* 27 (TRRL, 1969). O procedimento de ensaio é resumido abaixo.

Configuração do dispositivo

i) Definir o nível base usando o nível de *in-built* e os três parafusos de nivelamento na base.

ii) Levantar a cabeça para que o braço do pêndulo saia da superfície. O movimento da cabeça do dispositivo, que transporta o braço oscilante, escala graduada, ponteiro e mecanismo de liberação, é controlado por um pinhão e cremalheira na parte traseira da coluna vertical. Depois de soltar o botão de travamento A na parte traseira da coluna, a cabeça pode ser levantada ou abaixada girando um dos botões B/B1. Quando a altura necessária é obtida, a unidade principal deve ser travada em posição usando o botão de aperto A.

iii) Verificar a leitura zero. Isso é feito primeiro levantando o braço oscilante para a posição de libertação horizontal, no lado direito do dispositivo. Nesta posição, ele é automaticamente bloqueado na trava de libertação. O ponteiro é então trazido para a sua parada em linha com o braço do pêndulo. O pêndulo é o braço libertado pressionando o botão C. O ponteiro é carregado com o braço do pêndulo somente no balanço para a frente. Pegar o pêndulo no seu giro de retorno e observar a leitura do ponteiro. Corrigir a configuração de zero, conforme necessário, ajustando os anéis de fricção.

iv) Com o braço pendular livre e pendurado verticalmente, coloque o espaçador, que é preso à base da coluna vertical, sob o parafuso de ajuste da alça de elevação para levantar o controlo deslizante. Abaixar a cabeça do dispositivo, usando o botão B, até que o controlo deslizante apenas toque a superfície da estrada e prenda na posição com o botão A. Remover o espaçador.

v) Verificar o comprimento de deslizamento do controlo deslizante de borracha sobre a superfície sob ensaio, baixando suavemente o braço do pêndulo até que o controlo deslizante apenas toque a superfície primeiro em um lado e depois no outro lado da vertical. O comprimento de deslizamento é a distância entre as duas extremidades onde a borda deslizante da borracha toca a superfície de ensaio. Para evitar desgaste indevido do deslizador ao mover o braço do pêndulo através do arco de contacto, o deslizador deve ser levantado da superfície da estrada por meio da alça de elevação. Se necessário, ajuste o comprimento correcto levantando ou abaixando levemente a cabeça. Quando o aparelho estiver ajustado correctamente, o comprimento de deslizamento deve estar entre 125 e 127 mm, conforme indicado pela medida fornecida. Coloque o braço do pêndulo na posição travada. O aparelho está pronto para ensaios.

Operação do dispositivo

i) Depois de garantir que a superfície da estrada esteja livre de partículas soltas, molhe a superfície da estrada e o controlo deslizante.

ii) Trazer o ponteiro para o ponto de paragem. Soltar o braço do pêndulo pressionando o botão C e segurar o giro de retorno, antes que o controlo deslizante bata na superfície da estrada. Registar o valor indicado.

iii) Retornar o braço e o ponteiro para a posição travada, mantendo o cursor afastado da superfície da estrada por meio da alça de elevação. Repita o processo, espalhando água sobre a área de contacto com a mão ou escova entre cada balanço. Registar a média de cinco oscilações sucessivas, desde que não difiram em mais de três unidades. Se o intervalo for maior que isso, repita as oscilações até que três leituras sucessivas sejam constantes; registar esse valor.

iv) Levantar a cabeça do dispositivo para que ele se mova para fora da superfície novamente e verificar o giro livre para qualquer erro zero.

v) Os deslizantes devem ser renovados quando a borda deslizante se tornar esmerilada ou arredondada. Uma borda deslizante geralmente pode ser usada por pelo menos 100 ensaios (500 oscilações). Os novos controlos deslizantes devem ser tornados rugosos antes do uso balançando várias vezes em trecho seco da estrada.

Correcção da Temperatura

O efeito da temperatura na restênciancia da borracha torna necessário corrigir o valor medido da resistência à derrapagem a uma temperatura padrão. A temperatura da estrada é medida registando a temperatura da água após o ensaio usando um termómetro digital e uma sonda de superfície. Recomenda-se que, em climas tropicais, o valor seja corrigido para uma temperatura padrão de 35ºC usando a seguinte relação,

$$SRV_{35} = (100 + t)/135 \,.\, SRV_t$$

onde SRV_{35} = Valor da resistência de derrapagem a 35ºC

SRV_t = valor medido da resistência à derrapagem

t = temperatura do ensaio

Nesta temperatura padrão, os valores corrigidos serão 3-5 unidades mais baixas do que as superfícies comparáveis no Reino Unido, onde os resultados são corrigidos para 20oC.

E.2.2 Padrões

Se os padrões nacionais para resistência à derrapagem não estiverem disponíveis, então os recomendados no Reino Unido podem ser usados como guião. Os actuais níveis de intervenção do Reino Unido são agora especificados em termos do coeficiente de resistência lateral (SFC), medido pelo SCRIM. Se apenas o dispositivo portátil de medição da resistência a derrapagem estiver disponível, os padrões anteriores do Reino Unido, resumidos na Tabela E-3, são sugeridos como guião preliminar.

Tabela E-3 Valores sugeridos de resistência mínima à derrapagem

Tipo of Local	Mínimo SRV @ 20ºC
Locais difíceis, tais como: Rotundas Dobras com raio inferior a 50 m em estradas sem restrições Gradientes, 1 em 20 ou mais compridos que 100 m Aproximações a semáforos em estradas sem restrições	65
Auto-estradas, estradas secundárias e de classe 1 e estradas com tráfego pesado em áreas urbanas (com mais de 2000 veículos por dia)	55
Todos os outros os locais	45

Apêndice F

Poço de Ensaio e Materiais de Testagem

Apêndice F Poço de Ensaio e Materiais de Testagem

Quando os resultados do levantamento de condições indicam que as propriedades do revestimento de asfalto podem ser a causa do desempenho diferente entre as subsecções, deve ser confirmado através de ensaios adicionais. Amostras de carotes de 150 mm de diâmetro suficientes precisam ser tiradas de cada subsecção para garantir que os valores representativos para a composição e propriedades da superfície de asfalto sejam obtidos. Antes do ensaio, os carotes devem ser examinados para estabelecer os seguintes

1. espessura de cada camada;
2. grau de ligação;
3. ocorrência de qualquer descascamento; e
4. profundidade de fissuração (se necessário).

Onde somente a espessura do revestimento betuminoso deve ser medida, os carotes de 50-100mm de diâmetro são satisfatórios. Carotes semelhantes podem ser usados para perfis transversais de carotes que são usados para estabelecer se a rodeira é o resultado de rotura por corte no revestimento ou numa das camadas inferiores de pavimento não ligado.

Quando as medições de deflexão e os resultados do DCP indicam que a espessura ou as propriedades das camadas inferiores do pavimento são a causa do desempenho diferente, então os poços de ensaio são necessários para obter informações adicionais sobre o material para confirmar esses resultados. Essas investigações são usadas tanto para fornecer uma explicação para o comportamento actual do pavimento quanto para fornecer informações para sua reabilitação. Cada poço de ensaio fornecerá informações sobre a espessura de cada camada de pavimento e propriedades do material. Estes podem então ser comparados aos valores especificados.

F.1 Procedimento de Ensaio no poço

F.1.1 Objectivo

O objectivo da realização de uma investigação do poço de ensaio é confirmar a compreensão dos engenheiros sobre as informações das pesquisas de condição de superfície, deflexão e DCP. É uma operação demorada e dispendiosa e, por essa razão, a localização de cada poço de ensaio deve ser cuidadosamente selecionada para maximizar o benefício de qualquer dado recolhido. A condição do pavimento da estrada e a finalidade principal da investigação do poço devem ser registadas no Registo de Poços de Ensaio (ver Figura F.1).

F.1.2 Trabalho, equipamentos e materiais

Os poços de ensaio podem ser escavados por máquina ou manualmente. A escolha será normalmente determinada pela disponibilidade da planta e pelo programa do poço de ensaio. As operações da máquina geralmente são mais produtivas, porém mais dispendiosas do que os métodos manuais.

O seguinte pessoal é necessário;

1. Controladores de tráfego - um mínimo de um em cada extremidade do local (mas veja acima);
2. Trabalhadores: 2 (se escavação de máquina) ou 3 (se escavação manual);
3. 1 operador de máquina, se aplicável;
4. 1 motorista para veículo; e
5. 1 técnico de supervisão.

Dados de localização	Data:	Feitopor:	Clima:
Número da estrada:	A partir de:	Para:	Secção:
Localização:	Posição		Número do poço:
Condição de Pavimento:			
Objectivo da investigação:			

Dados do poço de teste

Método de Furo

Profundidade (mm)	Função de Camada	Descrição do material	Profundidade da Amostra (mm)	Testes Requerido	Observações
500					
1000					
1500					

Notas para concluir dados do poço de teste

Função de Camada:	S-Superfície, R-Base da estrada, SB-Sub base, SF-Selecção do Enchimento, SGR-Leito
Descrição do material:	Avaliação subjectiva do tipo de material e propriedades
Profundidade da Amostra:	Profundidade (intervalo) na qual quaisquer amostras tiradas
Teste requerido:	Anotequaisquer testes de laboratórionecessários
Observações:	Anote qualquer ponto de interesse em particular, como pavimento ou condição de drenagem, nos testes de reprodutores (humidade, densidade), evidências de águas subterrâneas, etc

Figura F-1 Registo de poço de ensaio

Requisitos de equipamentos e materiais são os seguintes;

1. 1 retroescavadora (para escavação à máquina);
2. 1 martelo -macaco com gerador (para auxiliar na escavação manual);

3. 1 perfurador;
4. 1 ou 2 pás (um escavador de poste pode também ser útil);
5. 1 placa compactadora ou tamper para o enchimento do poço de ensaio;
6. material para enchimento e selagem do poço de ensaio: material granular, cimento para estabilização do material granular, água e mistura a frio para revestimento;
7. 1 vassoura para a limpeza da área após a conclusão;
8. 1 Chisel é frequentemente útil para auxiliar na inspecção da parede do poço de ensaio;
9. equipamento necessário para completar qualquer ensaio requerido no local;
10. uma fita métrica e barra de aço fina para abranger o fosso (para auxiliar nas medições de profundidade);
11. sacos de amostras e recipientes, com alguns meios para rotular cada um;
12. formulários para registo dos poço de ensaio e clipboard; e
13. livro de registo de amostra.

F.1.3 Amostragem e ensaio

Antes de começar a pesquisa no campo, o engenheiro deve ter clareza quanto às informações exigidas de cada poço de ensaio. Isso dependerá dos resultados de pesquisas anteriores, das especificações de materiais em uso e do entendimento do comportamento do pavimento. Alguns ensaios de campo podem ser necessários, bem como ensaios laboratoriais subsequentes de amostras extraídas do poço. A Tabela F-1 resume os vários ensaios que podem ser necessários e faz referência aos padrões relevantes com os quais os ensaios devem obedecer. Nem todos esses ensaios serão necessários e o engenheiro deve decidir sobre aqueles que são necessários.

Tabela F-1. Possíveis informações da investigação do poço de ensaio

Propriedade	Possíveis Ensaios[1]	Campo ou Lab[2]	BS Original padrão[3]	Observações
granulometria	Análise depeneiro	Lab	AASHTO T88	Avaliação visual inicial no local.
Plasticidade	Limites de plasticidade e liquidez, Índice de Plasticidade	Lab	AASHTO T90 ou ASTM D4318	Avaliação visual inicial no local.
	retracçãoLinear	Lab	AASHTO T92 ou ASTM D4318	Correlacionado com PI
Formato da Partícula [4]	Índice de Alongamento	Lab	ASTM D4791	
	Índice de flacidez	Lab	TMH1 Método B3	
Formato da Partícula [4]	Valor de esmagamento do agregado	Lab	TMH1 Método B1	
	Valor de 10% de finos	Lab	TMH1 Método B2	
	Valor de Impacto Agregado	Lab	BS812:Parte 112:1990	
Durabilidade da Partícula[4]	Abrasão do Agregado	Lab	AASHTO T96	Valor de abrasão de Los Angeles dado em ASTM C 131-96 e C 535-96
	Abrasão do Agregada	Lab	AASHTO T279 ou ASTM D 3319-90	
Solidez da Partícula	Ensaio de sulfato	Lab	AASHTO T104 ou ASTM C88	
Densidade das Partícula	Densidade das partículas	Lab	AASHTO T100	Para solos
	Densidade deaspartículas	Lab	AASHTO T85 ou ASTM C128	Para agregados
Conteúdo de humidade	Forno de secagem [7]	Lab	AASHTO T265	Método recomendado
	'Velocidade'	Field	Instruções do Fornecedor	
	Medidor de densidade nuclear	Field	Instruções do Fornecedor	Material radioativo perigoso
Relação de Densidade da humidade	Ensaios em vários níveis de compactação	Lab	AASHTO T180 ou ASTM D1557	Para 2,5 kg de *uso de compactador* AASHTO T99 ou ASTM D698
Densidade da camada[5]	Método de Substituição de Areia	Field	AASHTO T191 ou ASTM D558	
	Método de cortador de carote	Lab	BS1377:Parte 9:1990	
	Medidor de densidade nuclear	Field	AASHTO T310	Material radioativo perigoso
	DCP	Field	Vide Apêndice F	

Propriedade	Possíveis Ensaios[1]	Campo ou Lab[2]	BS Original padrão[3]	Observações
Capacidade de suporte	Relação de Rolamento Califórnia	Lab	AASHTO T193 ou ASTM D1883	
Resistência[6] de cisalhamento	Ensaio de palhetas	Field	AASHTO T223	Para solos coesos
	Vários ensaios de carga	Lab	AASHTO T236, AASHTO T296, AASHTO T297	

Notas

1. Em alguns casos, os possíveis ensaios listados para uma determinada propriedade são alternativas. Em outros casos, todos os ensaios listados para uma determinada propriedade podem ser necessários. O engenheiro deve decidir quais informações das propriedades são necessárias e, em seguida, elaborar um programa de ensaio adequado.
2 Os ensaios de campo exigem ensaios no local e, possivelmente, análises adicionais no laboratório. Ensaios laboratoriais requerem apenas amostragem no campo. Todas as amostragens devem ser realizadas de acordo com a orientação geral do AASHTO T2, AASHTO T168 e AASHTO R8,, o que for aplicável, bem como quaisquer requisitos específicos para cada ensaio.
3. As Normas AASHTO são citadas onde aplicável. Onde não há padrão AASHTO disponível, uma alternativa é citada.
4. Estes ensaios só serão necessários para materiais de superfície ou de base.
5. A camada deve consistir em material homogéneo para esses ensaios
6. Esses ensaios serão necessários apenas quando um problema de estabilidade ou liquidação de taludes estiver sendo avaliado e só será aplicado a materiais de leito.
7. O método de secagem à forno é recomendado, pois fornece uma medida fundamental do teor de humidade. Os métodos *Speedy e Nuclear Density Meter* requerem calibração e validação precisas, uma vez que derivam o conteúdo de humidade por análise indireta, mas têm a vantagem de fornecer resultados instantâneos. A validação deve sempre ser feita com referência ao método de secagem do forno.

F.1.4 Procedimento

Deve ser mantido um ambiente de trabalho seguro em todos os momentos. Muitas organizações terão procedimentos de segurança no local que devem ser seguidos. Onde não há procedimentos de segurança locais, os descritos na Nota de Estradas Internacionais 2 são recomendados.

Uma vez que tenha sido decidido o ensaio a ser realizado e a localização dos poços de ensaio tenha sido confirmada, o procedimento a seguir deve ser adoptado.

i) Estabelecer o controlo de tráfego

ii) Localizar com precisão a posição do poço de ensaio e registar no formulário de testes no de Pavimento (veja a Figura F.1). Normalmente, a posição de um poço será aparente após a conclusão devido à superfície remendada. No entanto, se for necessário monitoramento de longo prazo, um marcador de local permanente deve

ser colocado na beira da estrada. Registar todos os detalhes relevantes, como características de drenagem ao redor, condição da estrada e clima.

iii) Defina o bordo do poço de ensaio e remova o revestimento. O tamanho requerido do poço dependerá dos tamanhos de amostra necessários para os ensaios seleccionados, mas pode-se aumentar posteriormente se se considerarmuito pequeno. Normalmente, uma área de cerca de 0,8m por 0,8m será suficiente para a escavação manual, e a área mínima de trabalho necessária para uma operação de retroescavadora será suficiente para escavações à máquina. O bordo do poço pode ser cortado com um martelo ou picareta e o revestimento "descascada", tomando cuidado para não perturbar a superfície da base. A espessura média do revestimento deve ser registada.

iv) Se os ensaios de densidade forem realizados, é necessário ter uma superfície lisa, limpa e uniforme. É importante para a precisão do ensaio que a camada seja homogênea. Para o método de substituição de areia, não é necessário conhecimento prévio da espessura da camada, uma vez que isto se torna óbvio quando o furo é escavado. Se um medidor de densidade nuclear for usado, a espessura da camada pode ser estimada a partir dos resultados do DCP para determinar a profundidade do ensaio.

v) Após a conclusão de qualquer ensaio de densidade requerido, a camada pode ser removida ao longo da extensão do poço de ensaio, uma avaliação visual feita do material e amostras tomadas para ensaios de laboratório. Deve-se ter cuidado para não perturbar a camada inferior adjacente. A espessura da camada e a profundidade em que as amostras são tiradas devem ser medidas. Todas as informações devem ser registadas no registo de poços de ensaio de pavimentos.

vi) Continuar a amostrar, testar e escavar cada camada de pavimento seguindo o procedimento acima. Uma vez decidido que não há necessidade de escavar mais, a profundidade total do poço deve ser registada junto com qualquer outra informação, como a aparência da água em qualquer uma das camadas.

vii) Todas as amostras devem ser claramente rotuladas e os ensaios propostos para os materiais do poço devem ser registados num livro de registo de amostras para evitar confusão posterior no laboratório.

viii) O poço deve ser preenchido em camadas com material adequado que deve ser devidamente compactado. Muitas vezes, é boa prática estabilizar a camada superior com cimento, considerando que a compactação total não será alcançada. Uma mistura fria betuminosa pode ser usada para selar o poço preenchido.

ix) O local deve ser limpo e deixado em boas condições para o tráfego.

Apêndice G

Reciclagem de Materiais de Pavimentação

Apêndice G Reciclagem de Materiais de Pavimentação

Todas as camadas de pavimento de uma estrada a reabilitar podem, em princípio, ser recicladas e utilizadas no novo pavimento. Mais comumente, uma camada não ligada de material granular ou agregado processado pode ser escarificada e recompactada ou estabilizada com cimento ou cal para formar uma sub-base ou base de estrada para o novo pavimento. O projecto e processamento de tais materiais difere pouco do processamento de camadas completamente novas e é descrito no Manual de Dimensionamento de Pavimentos. A reciclagem de camadas de asfalto ou camadas de betão é mais complicada e é descrita neste Apêndice.

G.1 Introdução à reciclagem de asfalto

O uso de revestimentos betuminosos espessos tem aumentado à medida que as cargas de tráfego aumentam. Quando se desgastam, a reciclagem desses materiais pode reduzir os custos e os danos ao meio ambiente, reduzindo a exploração dos recursos naturais locais. Isso é particularmente verdadeiro em áreas onde há escassez de agregados de construção de estradas ou onde não há reservas naturais de petróleo.

É possível garantir que haja benefícios tanto para o cliente quanto para o mpreiteiro das operações de reciclagem, mas é improvável que a reciclagem se espalhe até que certas condições sejam atendidas. Esses incluem:

i) potencial suficiente para reciclagem para justificar a compra de planta especializada;

ii) pressão de órgãos do governo para implementar a reciclagem;

iii) especificações adequadas e/ou metodologias de trabalho para uso contratual; e

iv) bom entendimento das propriedades dos materiais e métodos de modificação e aplicação.

Os asfaltos que provavelmente estarão disponíveis para reciclagem são aqueles que se tornaram severamente endurecidos e envelhecidos e fissurados ou revestimentod que falharam através da deformação plástica. Destes, o primeiro é mais comum, com falhas de deformação plástica ocorrendo localmente, onde o tráfego é lento, como nas juntas e nas vias de subida. Asfalto envelhecido é frágil, contendo betume muito duro. Em contraste, o asfalto que sofreu deformação plástica contém betume que sofreu muito pouco endurecimento por idade. Esses dois tipos de material apresentam diferentes problemas para recuperação, armazenamento e reutilização.

G.2 Métodos de Reciclagem

Pavimentos betuminosos recuperados (RAP), ou a fresagem, são reciclados de três maneiras principais. São britados e usados como materiais granulares para camadas de enchimento ou camadas inferiores do pavimento ou reutilizados em materiais betuminosos, seja por mistura a frio ou reciclagem a quente. Esses processos de reciclagem podem ser realizados no local ou numa central. A maior redução de custos será obtida quando o RAP for usado para produzir material de boa qualidade ligado a betume e seu uso como material não ligado deve ser considerado como o objectivo mínimo para reciclagem.

A decisão de reciclar o asfalto e a qualidade que pode ser alcançada é determinada por vários factores que incluem o seguinte:

i) disponibilidade de uma central de reciclagem adequada;
ii) espessura da camada betuminosa existente;
iii) o efeito na gestão do tráfego, p.e., se podem ser construidos desvios ou se a faixa de rodagem deve estar parcialmente aberta ao tráfego;
iv) nível de controlo de qualidade que pode ser alcançado no processo de reciclagem; e
v) variabilidade nas propriedades do material existente.

O equipamento padrão de "corte" e britagem pode ser muito eficaz para produzir RAP bem graduado a partir de asfalto envelhecido e frágil. Este material, modificado se necessário pela adição de agregado fresco, pode ser adequado para uso em qualquer camada do pavimento. No entanto, recomenda-se que o RAP não seja usado para fabricar camadas de desgaste betuminosas, a menos seja demonstrado que o alto grau de uniformidade e as tolerâncias estritas exigidas para essa camada crítica podem ser alcançadas. As tolerâncias mais amplas permitidas para a base betuminosa e, em menor escala, para as camadas ligantes, tornam essas camadas mais adequadas para incorporar o RAP. A uniformidade e qualidade da RAP e do tipo de central de reciclagem determinará a percentagem de RAP que pode ser usada nas misturas. Normalmente, varia de 20 a 50%.

Quando o RAP é usado numa camada de pavimento, o controlo da boa qualidade do armazenamento do RAP é vital para a fabricação de revestimento betuminosoconsistente. Isso pode exigir uma quantidade considerável de ensaios. A presença de múltiplos tratamentos superficiais antigos também pode ser aceitável se eles tiverem endurecido pela idade. No entanto, nos casos em que houve uma reparação pesada ou a qualidade da selagem é variável, a reciclagem pode ser limitada à pulverização e estabilização *no local.*

Estão disponíveis pulverizadores potentes que permitem a reciclagem a frio *no local*, com a incorporação de materiais frescos, conforme necessário, para produzir uma camada com a qualidade exigida.

G.3 Método de amostragem do asfalto existente

Um estudo de viabilidade é necessário para avaliar a variabilidade do material existente e estabelecer que um dimensionamento da mistura adequado pode ser alcançado e pode ser fabricado com a planta disponível. As amostras devem ser cortadas do asfalto existente para análise. Um equilíbrio deve ser encontrado entre ensaios dispendiosos e demorados e a necessidade de amostras suficientes para determinar a variabilidade do material. O padrão de amostragem deve levar em conta a variabilidade visualmente óbvia, como:

i) "vias" contaminadas;
ii) vias que parecem "ricas" em betume, indicando um material denso no qual o endurecimento por betume pode não ser tão severo quanto em qualquer outro lugar do pavimento;
iii) material que parece rico em betume e pode ter sofrido deformação plástica; e
iv) fissuras ou fricção indicando que ocorreu um considerável endurecimento do betume.

A identificação dos comprimentos das estradas com aparência aparentemente uniforme é usada para estabelecer secções representativas curtas que podem ser testadas. Com base nessas secções, um padrão adequado de ensaio pode ser estabelecido. A intenção deve ser armazenar separadamente materiais severamente envelhecidos (normalmente com valores de penetração de betume recuperado de menos de 20) de materiais menos endurecidos e descartar material mal contaminado das"vias". A avaliação detalhada da gestão de armaznamento deve ser finalizada após um estudo teórico ter sido realizado para mostrar como os vários materiais do RAP podem ser combinados com agregados novos para produzir misturas aceitáveis.

Os seguintes ensaios devem ser realizados para determinar as propriedades do material:

i) granulometria;
ii) teor de betume;
iii) viscosidade do betume recuperado; e
iv) uma avaliação da capacidade de britagem.

Recuperar o betume do RAP para determinar a penetração do betume existente representa um problema para muitas autoridades. A menos que esteja claro que o betume existente está severamente envelhecido, é provável que um lote cuidadosamente seleccionado de carotes tenha que ser enviado para laboratório qualificado para que esses ensaios sejam realizados.

G.4 Métodos de obtenção do RAP

O RAP pode ser obtido por fresagem ou pode ser cortado da estrada em pedaços que devem ser britados. Deve ser feita uma avaliação da probabilidade de obter um material bem britado com a planta disponível, preferencialmente no estágio de viabilidade. A fresagem é particularmente útil quando o acesso ao tráfego deve ser mantido durante a remoção do asfalto danificado. Qualquer método é adequado quando a estrada está fechada ao tráfego durante o trabalho de reabilitação.

G.4.1 Fresagem de Asfalto

As fresagens do asfalto são feitas moendo a camada do pavimento usando uma planta móvel. Estes geralmente são consistentes em sua distribuição de tamanho fixo e normalmente podem ser usados como material granular conforme vencido ou com triagem mínima para remover qualquer material de tamanho excessivo.

G.4.2 Asfalto britado

O asfalto britado é comumente obtido usando britadores de impacto horizontais ou britadores de impacto de martelo de fresagem. Os britadores combinados de mandíbulas/roletes não são adequados para processar o RAP que contém betume "mole" porque a "biscoitos" pode se formar em dias quentes e o material permanecerá aglomerado.

G.4.3 Asfalto granulado

O asfalto granulado é produzido numa planta especializada, conhecida como granulador, ou em unidades de fresagem/trituração. Estas unidades não são britadoras e são projectadas apenas para quebrar a ligação entre o asfalto e o betume.

G.5 Armazenamentodo RAP

O armazenamento do RAP é uma parte muito importante do processo de reciclagem. Os benefícios completos dos ensaios abrangentes das camadas de asfalto *no local* podem ser facilmente perdidos se o controlo igualmente rigoroso do processo de armazenamento não for implementado. Dependendo da variabilidade encontrada durante o ensaio, pode ser necessário construir armazéns separados de materiais retirados de diferentes secções da estrada.

A tendência do RAP para aglomerar é afectada tanto pela dureza do betume no RAP como pela temperatura ambiente. O método mais eficaz de armazenamento deve ser estabelecido por tentativa e erro. A experiência mostrou que o RAP em grandes montões não tende a se aglomerar. Pode se formar crosta de 250-300 mm na superfície do armazenamento e isso deve ser escalonado e reprocessado antes da reciclagem. Os montões maiores devem, portanto, fornecer mais RAP utilizável.

O RAP pode conter até 7-8% de humidade, o que reduz seriamente a quantidade de material que pode ser misturado a quente, aumenta os custos de combustível e limita a produtividade. Embora a cobertura de um montão com uma membrana impermeável impeça a entrada de chuva, pode ocorrer condensação. Idealmente, o RAP para a mistura a quente deve ser armazenado sob um telhado em um prédio com laterais abertas.

RAP armazenada destinada a ser usada como material granular não ligado pode ser regado para evitar a aglomeração de partículas em climas quentes e isso também ajuda a compactação no local.

G.6 Uso de RAP como material granular não ligado

O asfalto endurecido pela idade pode ser reciclado como um material granular não ligado. Pode ser produzido como fresagem, asfalto britado de grumos ou como asfalto granulado. O RAP pode ser misturado com agregado fresco para produzir uma granulometria apropriada para a camada na qual será usado. Quanto mais duro o betume no RAP, mais fácil será esmagar, manusear e compactar novamente na nova camada. Por exemplo, o betume no RAP com um valor de penetração inferior a cerca de 15 irá comportar-se de uma maneira frágil.

Em contraste, o asfalto que falhou devido à deformação plástica terá sofrido pouco ou nenhum endurecimento do betume nas vias. Na 'pista de petróleovias', o betume pode ter amolecido ao longo do tempo, enquanto que o material fora dasvias, ou da faixa de óleo, pode ter endurecido significativamente pela idade. Este tipo de material é difícil de processar e os melhores resultados podem ser esperados por fresagem selectiva e armazenamento antes de misturar novamente e adicionar agregado novo numa central de reciclagem a quente.

G.6.1 Esboço da especificação do Reino Unido para o uso do RAP como camada de cobertura ou sub-base

Em princípio, o RAP fresado ou britado pode ser usado na sub-base de um pavimento de estrada. A qualidade do agregado no RAP deve atender ou exceder os requisitos normais para essas camadas. Se apenas agregado de boa qualidade for adicionado para modificar a granulometria, então a camada compactada do material misturado deve ser de qualidade aceitável desde que o betume no RAP seja suficientemente duro para não impedir a compactação e que a camada acabada seja suficientemente densa.

Uma camada de cobertura só seria usada na construção de um novo pavimento onde o CBR do leito fosse inferior a 5%.

A camada pode conter 100% de RAP desde que o teor de betume seja inferior a 10%. O material reciclado pode ser aplicado a uma espessura máxima compactada de 200 mm, desde que a densidade requerida seja obtida.

O material pode ser usado puro ou misturado com outros materiais granulares para atender aos requisitos das camadas de cobertura.

Outro material granular não ligado pode ser adicionado ao RAP para fornecer um material com reduzido teor de betume eficaz.

Um material de maior qualidade pode ser obtido limitando-se o tamanho máximo efectivo de partícula a 37,5 mm porpeneiração e britagem do material de dimensões maiores.

G.6.2 Uso do RAP como base de estrada granular

Se for possível demonstrar que um material não ligado contendo RAP atende às especificações de granulometria, densidade e CBR, que são normalmente aplicadas a materiais novos, é normalmente aceitável usar o RAP como base de estrada. Um factor limitante é a solidez do betume no RAP; Betume "mole" em aglomerações de betume e finos pode impedir a obtenção da densidade requerida. Nestas circunstâncias, a proporção de RAP usada na nova camada deve ser restrita a um nível no qual a compactação completa possa ser alcançada.

A base de estrada é uma importante camada de suporte de carga e, portanto, é aconselhável restringir o uso geral de RAP nessa camada até que a experiência de seu desempenho seja adquirida. A inclusão de RAP em uma camada de base da estrada inferior ou sob uma superfície AC nas estradas mais levemente traficadas fornece um método apropriado para adquirir essa experiência.

G.7 Reciclagem a frio

A reciclagem da mistura a frio pode ser feita em profundidade parcial ou total num pavimento betuminoso com mistura realizada no local ou fora do local numa central. O processo preserva o agregado e o betume, os problemas de qualidade do ar são minimizados e as necessidades de energia são baixos. As camadas existentes do pavimento são reprocessadas com a adição de agregado novo, se necessário. Durante a operação de reprocessamento, o estabilizador hidráulico, como o cimento *Portland* ou o betume emulsificado ou fluidificado, é misturado para produzir um novo material com as propriedades requeridas. A reciclagem da mistura a frio está fora do âmbito deste manual. Deve ser feita referência aos manuais apropriados para recomendações detalhadas.

G.8 Central de Reciclagem de mistura a quente

A reciclagem de mistura a quente é normalmente realizada fora do local, numa central. Asfalto contendo alcatrão não deve ser reciclado devido ao alto risco de gerar material cancerígeno.

G.8.1 Alimentação de RAP à central

Para evitar bloqueios que reduzirão substancialmente a produção, a RAP deve ser medida na planta através de bandejas de alimentação a frio com as seguintes características:

i) Os lados devem ser mais inclinados do que os da bandeja de alimentação do agregado.

ii) .A parte inferior da bandeja pode ser mais longa e mais larga que a de uma bandeja de alimentação do agregado.

iii) O fundo do recipiente pode inclinar-se para baixo, para coincidir com uma correia de alimentação inclinada, e a parede final é, por vezes, deixada aberta.

iv) Não devem ser usados vibradores.

v) O RAP deve ser colocado lentamente no compartimento de alimentação a frio do carregador frontal.

vi) O nível na bandeja deve ser mantido relativamente baixo. Isso significa que a bandeja deve ser alimentada com mais freqüência do que o necessário para uma bandeja normal de alimentação do agregado a frio.

vii) O material não deve ser deixado na bandeja de alimentação a frio por mais de uma hora. É mais económico esgotar o conteúdo da bandeja do que remover depois.

G.8.2 Planta de reciclagem em lotes

Como o agregado frio transita para a chama de aquecimento nesse tipo de planta, a introdução do RAP resultaria em fumo excessiva e outros problemas. A técnica de transferência condutiva de calor, que envolve o superaquecimento do agregado fresco e a adição de RAP frio via elevador ou directamente no funil de pesagem, minimiza a probabilidade de poluição do ar. A porcentagem de RAP que pode ser usada depende dos seguintes factores:

i) A temperatura à qual o agregado virgem é aquecido.

ii) A temperatura e teor de humidade do RAP.

iii) A temperatura requerida da mistura final.

Sob condições ideais, as plantas de reciclagem em lotes podem misturar até 40% de RAP com agregado fresco superaquecido, mas 15 a 25% é mais típico.

G.8.3 Misturadores em lote com um tambor de aquecimento separado (tambor paralelo)

Neste sistema, o RAP é aquecido num tambor separado a cerca de 130ºC. O agregado fresco é aquecido separadamente a uma temperatura elevada e ambos os materiais são pesados para produzir a mistura requerida na unidade de mistura. A temperatura final da mistura é de cerca de 160º C. O pré-aquecimento permite que 50% da RAP seja usada na mistura, ou ainda mais, se uma qualidade consistente de saída puder ser garantida.

O pré-aquecimento do RAP permite a produção de uma mistura mais uniforme e melhor controlo da temperatura da mistura e este é o método preferido de reciclagem. No entanto, o desenvolvimento continua e outros tipos de instalações especificamente projectadas para reciclagem de materiais betuminosos estão se tornando disponíveis.

G.9 Avaliação e dimensionamento – Central de reciclagem de mistura a quente

G.9.1 Variabilidade do RAP

O RAP é geralmente um material que falhou por deformação plástica e contém principalmente betume relativamente macio, ou asfalto muito fissuradocontendo betume muito duro. Portanto, é importante determinar as variações nas propriedades do betume no RAP e como isso será levado em consideração no processo de dimensionamento da mistura.

G.10 Rejuvenescedores de betume

Os rejuvenescedores têm sido usados para alterar as propriedades do betume no RAP para torná-lo semelhante ao novo betume. No entanto, embora tais agentes possam mudar o betume envelhecido para obter a viscosidade requerida, diferentes agentes produzem aglutinantes com diferentes susceptibilidades à temperatura. Verificou-se também que podem existir problemas relacionados com a compatibilidade entre o betume envelhecido e o agente de rejuvenescimento; portanto, são recomendados ensaios antes do uso em larga escala.

G.11 Mistura com betume mole

Se um betume mais macio é adicionado com a intenção de trazer o betume misturado dentro da especificação, a penetração (P) do betume fresco pode ser calculada usando a equação G.1.

$Log\ P = (A.\log Pa + B.\log Pb)/100$ Equação G.1

onde, P = penetração especificada da mistura final

Pa = penetração do betume RAP

Pb = penetração de betume virgem

A = percentagem de betume RAP na mistura final

B = percentagem de betume virgem na mistura final. Nesta relação, a "mistura" é a quantidade total de betume apenas, ou seja, A + B = 100.

G.11.1 Limitações da mistura de betume

O betume em RAP recuperado do asfalto britado terá tipicamente uma penetração inferior a 15 e não se pode esperar uma mistura satisfatória do betume novo e antigo. Por exemplo, para obter uma penetração final de 80 em uma mistura de 60% de betume fresco e 40% de betume RAP no qual o betume endureceu a uma penetração de 15, seria necessário o uso de betume fresco com uma penetração de aproximadamente 200. É altamente provável que algum agregado fresco seja revestido somente com o betume fresco e macio, e isso poderia desempenhar um papel dominante no desempenho da mistura, com um risco de rotura por deformação plástica.

O método mais fiável para obter um projecto robusto com asfalto rígido é, portanto, considerar o betume em RAP endurecido como parte da estrutura agregada e usar um betume de grau de penetração 60/70 ou 80/100, em vez de um aglutinante macio. Isso impedirá a possibilidade de deformação plástica na nova mistura.

No caso de RAP de áreas com deformação plástica, o efeito do betume existente mais macio pode ser levado em consideração durante o processo de dimensionamento da mistura. Ensaios de laboratório e misturas de asfalto são necessários para garantir que os requisitos para projecto volumétrico e propriedades Marshall sejam atendidos. Os procedimentos de Marshall descritos no Apêndice C do Volume 1 do Manual de Dimensionamento de Pavimentos devem ser seguidos. Informações adicionais de um ensaio de desempenho, como o ensaio de via, também são muito úteis nessa avaliação.

A percentagem de RAP que pode ser utilizada é controlada pela temperatura de mistura que pode ser alcançada no material misturado. A temperatura deve ser alta o suficiente para garantir que o betume fresco tenha uma viscosidade adequada para a mistura.

G.12 Dimensionamento de Misturas

O procedimento de projecto mais comum é o proposto pelo Asphalt Institute (1986). A fim de atender a consistência da mistura e as tolerâncias de dimensionamento, recomenda-se que a RAP seja usada para produzir misturas de camadas ligantes ou de base para as quais especificações adequadas tenham sido fornecidas no *Volume Manual de Dimensionamento de Pavimentos*. Estes materiais reciclados devem ser selados ou revestidos com uma nova camada de desgaste betuminosa.

As avaliações iniciais da adequação dos materiais para reciclagem podem necessariamente basear-se nos resultados de ensaios realizados em carotes completamente "quebrados". Na prática, a RAP é obtida com equipamento pesado produzindo blocos de material para o esmagamento ou pelo uso de uma fresadora. Portanto, a classificação real do RAP deve ser levada em conta ao concluir os projectos finais de mistura. A necessidade de mais ajustes com finos pode ser indicada depois que as características de manuseio e compactação da nova mistura tiverem sido avaliadas em ensaios de pré-construção, porque é provável que tenha ocorrido uma perda adicional de RAP durante a mistura na central.

A mistura reciclada deve atender aos requisitos normais de composição volumétrica, ou seja, ser dimensionada para 4 ou 5% VIM e reter pelo menos 3% VIM após compactação secundária pelo tráfego, conforme apropriado (consulte o Apêndice C do Manual de Dimensionamento de Pavimentos). Não é possível testar misturas de camadas ligantes ou de base pelo método Marshall se os agregados tiverem partículas maiores que 25 mm. Se a proporção de material maior que 25 mm for pequena, a orientação fornecida no Apêndice C pode ser adoptada e a mistura resultante avaliada em experiências no campo.

Onde não é possível usar o ensaio Marshall devido ao tamanho do agregado, o Ensaio de Recusa Percentual (BSI, 1989) pode ser usado para assegurar que um equilíbrio adequado entre a composição e o VIM mínimo, após a compactação, seja obtido (consulte o Manual de Dimensionamento de Pavimentos). O ensaio de densidade de recusa percentual deve ser usado para verificar a densidade do material colocado.

O agregado usado no RAP pode ser conhecido por fornecer bons resultados de ensaio Marshall quando usado em um novo material AC. Se o agregado fresco também vier da mesma fonte de rocha ou de uma fonte semelhante e atender aos requisitos normais de solidez, resistência e durabilidade do agregado, os ensaios de composição podem ser suficientes para o projecto de asfalto que terá um bom desempenho em um novo revestimento de asfalto. No entanto, sempre que possível, ensaios de desempenho,

como ensaios de Tracção Indireta ou de ensaio de vias, devem ser usados para garantir que uma mistura satisfatória possa ser produzida.

G.13 Casos de estudos de reciclagem de asfalto

Dois estudos de viabilidade para reciclagem de materiais de revestimento betuminoso são descritos abaixo. Somente amostras principais podem ser obtidas para ensaios. As localizações dos carotes foram estabelecidas em trechos de 1 km de comprimento que eram representativos do restante da estrada. Ambas as secções eram visualmente razoavelmente uniformes. Um padrão de amostragem longitudinal e transversal foi adoptado como mostrado na Tabela G-1. Os detalhes do local são fornecidos na Tabela G-2.

Devem ser realizadas avaliações estruturais como parte do estudo de viabilidade para assegurar que um método apropriado de reabilitação do pavimento seja selecionado. No entanto, a ausência de deformação no Local 1 indicou que o pavimento era forte e investigações no Local 2 mostraram que a base da estrada estabilizada com cimento não se deformou e que a rotura estava confinada às camadas de asfalto.

Tabela G-1 Locais de amostragem de carote

Posição	Entre a lateral da via e o bordo	lateral da via	Linha central da via	lado exterior da via
0	✓	✓	✓	✓
100		✓		
200	✓	✓	✓	✓
300		✓		
400	✓	✓	✓	✓
500		✓		
600	✓	✓	✓	✓
700		✓		
800	✓	✓	✓	✓
900		✓		
1000	✓	✓	✓	✓

Tabela G-2 Detalhes dos locais da estrada

Local	Categoria de tráfego	Intervalo de profundidade da rodeira (mm)	Fissura	Observações
1	Muito pesado	0-4	Severa	Rotura por fissuração do revestimento betuminoso
2	Muito pesado	40-70	Nenhuma	Via de subida. Rotura por deformação plástica do revestimento betuminoso

G.13.1 Ensaio dos carotes

Os carotes do RAP foram aquecidos e quebrados. A granulometria do agregado do RAP foi determinada após a remoção do ligante de betume de amostras representativas. Outras amostras foram deixadas em condição "granulada", típica de um material britado fino, para inclusão em misturas recicladas. Na prática, o tamanho efectivo de RAP depende do método de recuperação e do grau de quebra que ocorre durante a mistura.

G.13.2 Estudo de Caso 1

As análises de amostras de carotes são ilustradas na Tabela G-3. O conteúdo médio de betume e granulometria do agregado para a camada de desgaste e camada de ligante foram significativamente diferentes, como seria de esperar, e a variabilidade do teor de betume e penetração dentro de cada camada foi baixa.

Na prática, a camada de desgaste e ac camada de ligante podem ser armazenados separadamente ou como um material combinado. A fresagem permitiria o empilhamento separado, mas, se fossem usados equipamentos de ruotura simples, os dois materiais provavelmente seriam recuperados em volumes maiores, que teriam que ser esmagados e misturados para dar um único material RAP.

Neste estudo de caso, a penetração do betume em ambas as camadas foi inferior a 15 e o RAP foi frágil. É provável que a recuperação em escala total do RAP resultaria em grumos contendo material de ambas as camadas e as amostras dos carotes foram, portanto, misturadas para ensaios em laboratório.

Tabela G-3 Resumo da composição da camada: Estudo de caso 1

Peneiro BS (mm)	Percentagem do tamanho que passa pelapeneiro			
	Camada de revestimento		Camada ligante	
	Média	variação	Média	variação
28	100	-	97	87-100
20	100	99-100	87	80-96
14	95	92-98	75	66-85
10	87	82-91	63	52-76
6,3	78	70-84	50	40-61
5	68	62-77	43	33-53
3,35	55	50-65	38	29-47
2,36	46	42-53	33	26-46
1,18	34	32-37	26	21-32
0,6	27	26-29	22	18-27
0,3	22	20-23	19	16-23
0,212	19	18-21	17	14-21
0,15	18	17-19	15	12-19
0,075	15	14-16	13	10-16
Betume (%)	5,4	4,9-5,7	3,6	3,1-4,4
Penetração (0,1mm)	13	6-24	9	5-15

Utilização como material granular

Britar e armazenar o RAP a partir deste local seria relativamente fácil se as duas camadas de asfalto quebradiço fossem combinadas.

A pré-britagem completa do RAP facilitaria a colocação e compactação do material e os cilindros vibradores também deveriam ser eficazes na quebra de quaisquer aglomerações. O agregado fresco poderia, se necessário, ser misturado com o RAP para modificar a granulometria. A selecção de uma mistura eficaz de materiais deve ser determinada depois de terem sido realizados ensaios de compactação de campo suficientes para garantir que os requisitos normais para a densidade e resistência de uma sub-base foram atingidos.

Reciclagem a quente

Durante a reciclagem da mistura a quente, o asfalto aglomerado remanescente na RAP pré-britada tende a quebrar e a distribuição efectiva do tamanho da partícula da RAP será semelhante à usada nos ensaios de laboratório descritos abaixo.

A referência aos dados históricos para armazenamento de agregados novos usados n um contrato local mostrou que até 47% da RAP poderia ser combinada com esses materiais para produzir uma granulometria que atendesse às especificações para base de estrada.

Como indicado na Tabela G-3, a penetração do betume recuperado varia de 6 a 24 na camada de desgaste e de 5 a 15 na camada aglutinante. É muito improvável que um rejuvenescedor modifique adequadamente o betume e seria melhor tratar o betume existente como parte das partículas do agregado e adicionar novo betume de penetração 60/70.

Uma mistura de 40% de RAP e agregado fresco foi dimensionada para estar em conformidade com uma mistura *Superpave* com um tamanho nominal máximo de agregado de 25 mm, conforme mostrado na Tabela G-4. Pode ser visto que a granulometria passa abaixo da zona restrita. A granulometria também está em conformidade com os requisitos do Instituto de Asfalto para uma mistura nominal de 25 mm e a mistura resultante deve, portanto, ter o potencial de ser muito estável.

Tabela G-4 Exemplo de mistura de agregado fresco e RAP: Estudo de caso 1

Peneiro (mm)	Limites de granulometria do Superpave			Mistura de 40% de RAP e agregado fresco
	Pontos de controlo		Zona restrita	
	Min	Max		
37,5	100	-	-	100
25	90	100	-	97
19		90	-	87
4,75			39,5 – 39,5	33
2,36	19	45	26,8 – 30,8	23
1,18			18,1 – 24,1	17
0,6			13,6 – 17,6	13
0,3			11,4 – 11,4	10
0,075	1	7	-	7

O dimensionamento da mistura foi baseado no teor de betume que deu 3% de VIM na densidade de recusa usando um martelo vibrador. O teor de betume projectado foi de 2,8% do betume fresco com grau de penetração 60/70. Amostras com um diâmetro de 150 mm foram feitas em um compactador giratório para fornecer aproximadamente 7 por cento VIM, ou 96 por cento da densidade de recusa, para ensaios de Tração Indirecta (ITT) e ensaios de via.

Os resultados dos ensaios de desempenho resumidos na Tabela G-5 mostram que a mistura deve ser muito estável sob acção do tráfego. Os ensaios de *via*, em particular, mostram que a especificação do Reino Unido para "locais de elevada tensão" (consulte o Anexo F do *Volume do Manual de Dimensionamento de Pavimentos*) é facilmente alcançada.

Tabela G-5 Resultados de ensaios de desempenho em laboratório para um mistura reciclada: Estudo de caso 1

No, amostras	VIM (%)	% densidade de rejeição	Taxa de ensaio de via (mm/hr aos 60^{0}C)	ITT (GPa)	
				Aos20^{0}C	Aos 30^{0}C
6 por ensaio	6,5-7,3	95,3-96,0	0,17-0,42	5,7-8,0	2,5-3,6

G.13.3 Estudo de Caso 2

Deformação plástica de até 70 mm se desenvolveu neste local. A aparência do asfalto exposto nos lados dos carotes era muito uniforme em toda a profundidade do material e nenhuma camada individual poderia ser identificada. As espessuras de asfalto estão resumidas na Tabela G-6.

Devido à grande deformação, é conveniente referir-se à posição do material em relação ao topo da base da estrada estabilizada. Os carotes foram cortados em fatias de 50 mm e conteúdo de betume, penetração de betume e granulometrias foram realizadas nas fatias. O material da camada 3 representou os 50 mm revestimento. Um resumo dos resultados é dado nas Tabela G-7 e Tabela G-8.

Os resultados mostram que a camada 1 (imediatamente acima da base) tinha uma granulometria relativamente mais grossa e um teor médio de betume que era 0,4 e 0,2 por cento menor do que para as camadas 2 e 3, respectivamente. Grandes variações foram encontradas na penetração do betume recuperado das três camadas. Penetrações teóricas de betume RAP totalmente misturado e 65 e 100 betumes frescos de penetração calculados usando a equação G.1 estão resumidos na Tabela G-9.

Tabela G-6 Espessura dos carotes: estudo de caso 2

Posição	Nº do Carote	Espessura do carote			
		Perto do bordo da estrada	lateral da via	Centro da via	parte exterior
0	1		145		
100	2-5	190	107	175	115
200	6		106		
300	7-10	135	143	145	112
400	11		93		
500	12-15	157	113	175	78
600	16		132		
700	17-20	148	155	120	150
800	21		95		
900	22-25	145	105	140	85
1000	26		107		

Tabela G-7 Conteúdo de VIM e betume: Estudo de caso 2

Camada	Altura acima da base(mm)	No, de carotes analizados	No, com VIM < 3%	Teors de betume (%)		
				Média	SD	Variação
1	0-50	16	11	4,1	0,3	3,2-4,6
2	51-100	16	16	4,5	0,4	3,6-5,0
3	101-150	16	10	4,3	0,4	3,7-5,0

O betume na camada 1 tinha uma penetração muito menor do que nas camadas 2 e 3, indicando que seriam obtidas reservas consistentes de RAP se esta camada fosse tratada separadamente. Se 30% da RAP da camada 1 foi reciclada com agregado fresco e 100 betume de grau de penetração, a substituição desses valores na equação G.1 indica que a penetração resultante seria entre 53 e 83 com um valor mediano de 66 se a mistura completa de os betumens ocorreram.

Uma mistura satisfatória provavelmente poderia ser feita usando 30 por cento de RAP bem misturado das camadas 2 e 3 misturadas com agregado fresco e 65 de grau de penetração betume. Embora seja muito improvável que a mistura uniforme dos betumes seja alcançada, a penetração teórica dos betumes misturados, antes do envelhecimento no processo de mistura, varia de aproximadamente 49 a 81 com um valor médio de 66.

Tabela G-8 Granulometria do agregado: Estudo de Caso 2

Peneiro BS (mm)	Percentagem do tamanho que passa pelopeneiro					
	Camada 1		Camada 2		Camada 3	
	Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo
28	97	91-100	99	96-100	100	-
20	84	70-92	98	86-97	98	94-100
14	70	56-87	80	73-87	89	82-96
10	60	44-74	70	64-75	75	67-85
6,3	51	35-63	60	53-65	60	53-73
5	45	31-58	53	46-60	54	47-65
3,35	40	27-51	47	42-54	48	40-54
2,36	34	23-44	42	37-46	42	35-47
1,18	26	18-34	33	26-46	34	27-38
0,6	22	15-28	28	21-35	29	24-33
0,3	17	12-23	23	16-29	24	18-28
0,212	14	10-19	20	13-25	21	15-25
0,15	11	7-15	16	9-21	18	12-22
0,075	7	5-11	11	5-15	13	7-17

Tabela G-9 Penetração de betume RAP misturado com betume fresco: Estudo de Caso 2

Camada	Penetração de Betume RAP		Proporção de RAP e agregado fesco	Penetração de Betume fresco	Penetração de Betume depois da mistura	
	Mediano	Intervalo			Mediana	Intervalo
3. Superior a 50mm	87	30-135	30:70	65	67	52-81
			50:50		69	52-93
2. Média 50 mm	68	25-160	30:70		64	49-81
			50:50		65	40-94
1. Inferior a 50mm	27	12-58	30:70		49	39-61
			50:50		41	28-59
3. Superior a 50mm	87	30-135	30:70	100	90	70-109
			50:50		86	55-115
2. Média 50 mm	68	25-160	30:70		87	66-109
			50:50		81	50-116
1. Inferior a 50mm	27	12-58	30:70		66	53-83
			50:50		50	35-73

Recuperação de asfalto existente

É necessário usar uma fresadora para produzir um material de granulometria o mais fino possível, pois o betume no RAP é macio e uma simples britagem durante o tempo quente provavelmente não seria possível. A mistura a quente tiraria vantagem do betume "macio" e a adição de betume fresco com grau de penetração 60/70 ou 80/100 deveria assegurar que a mistura com o novo agregado produziria uma mistura com uniformidade aceitável.

Foi realizado um dimensionamento no laboratório para uma mistura de base de estrada usando agregados frescos. Uma mistura de 50% de RAP e agregado fresco foi dimensionada para estar em conformidade com os requisitos do Instituto de Asfalto para uma mistura com um tamanho nominal máximo de agregado de 25 mm, como mostrado na Tabela G-10.

O teor de betume calculado foi de 3,5 por cento, dos quais 1,3 por cento eram betume fresco com grau de penetração 60/70. Foram feitas amostras com um diâmetro de 150 mm em um compactador giratório para dar aproximadamente 7 por cento VIM, ou 96 por cento de densidade de recusa, para ensaios de Tracção Indirecta (ITT) e ensaios de via.

Os resultados dos ensaios de desempenho na misturas recicladas são mostrados na Tabela G-11. As taxas de ensaio de vias foram baixas e dentro da especificação do Reino Unido para locais com muito estresse, enquanto os resultados da ITT eram marginais para uma mistura contendo betume de grau de penetração 60/70. Considera-se que o ensaio de ensaio de vias dá a melhor indicação de estabilidade e concluiu-se que a mistura deve ser estável sob acção do tráfego.

Tabela G-10 Um exemplo de mistura de agregado fresco e RAP: Estudo de caso 2

Tamanho dopeneiro (mm)	Tamanho de passagem pelapeneiro (%)	
	Granulometria do Instituto de Asfalto para agregado de tamanho máximo nominal de 25 mm	Mistura de 50:50 RAP e agregado fresco
37,5	100	100
25	90-100	93
12,5	56-80	66
4,75	29-59	34
2,36	19-45	22
0,3	5-17	12
0,075	1-7	6

Tabela G-11 Resultados de ensaios de desempenho de laboratório para um mistura reciclada: Estudo de caso 2

No, de amostras	VIM (%)	% densidade de rejeição	Taxa de ensaio de via (mm / h a 600C)	ITT (GPa)	
				Aos 20^{0}C	Aos 30^{0}C
6 por ensaio	7,0	96,0	0,12-0,46	-	1 - 2

G.14 Reciclagem de Betão de Cimento Portland

Na maioria dos casos em que a reconstrução é justificada, o betão existente pode ser reciclado, A reciclagem do pavimento de betão envolve a fragmentação do pavimento antigo na classe, o carregamento e o transporte do material para uma planta de britagem, e o processamento na fábrica para produzir agregado de betão reciclado (RCA), O produto deste processo é um agregado que pode ser usado no lugar do agregado virgem em qualquer componente da estrutura do pavimento onde o agregado é usado, incluindo:

1. Base granulometria densa, e não tratada;
2. Base estabilizada com cimento ou asfalto;
3. Base de betão leve
4. Revestimento de betão de cimento Portland
5. Superfície de Betão betuminoso

6. Filler
7. Material de filtro
8. Camada de drenagem ou drenos da bordo,

A reciclagem de pavimentos PCC não se limita aos pavimentos que contém agregado bons, Pavimentos contendo agregado reactivo podem ser reciclados num betão novo usando cinza volante para controlar a expansão do agregado reactivo, Pavimentos com fissuras também foram reciclados com sucesso em novos pavimentos, A prática comum na reciclagem do pavimento fissurado em D é limitar o tamanho máximo do agregado de betão reciclado, de modo que quaisquer partículas do agregado que contenham vazios consideráveis sejam britadas antes de serem usadas na nova mistura de betão,

Uma limitação do tamanho do agregado pequeno é a fraca interligação entre os agregados nas juntas e fissuras, especialmente no JRCP e no CRCP, Poderá ser necessário adicionar agregado virgem e de tamanho grande para que uma intertraligação agregado suficiente se desenvolva,

Um pavimento PCC que tenha uma cobertura em AC pode ser reciclado, mas as duas camadas devem ser recicladas separadamente, betão betuminoso não deve ser reciclado para um agregado numa mistura de PCC, porque o cimento inibirá a entrada de ar na mistura betuminosa,

Se um determinado pavimento deve ou não ser reciclado depende de vários factores, incluindo disponibilidade e custo do agregado virgem, custo do material de pavimento antigo se não for reciclado, custo aproximado de reciclagem, política de reciclagem e contratação local 'experiência com reciclagem, No entanto, a reciclagem de pavimentos PCC provou ser económica e ambientalmente vantajosa, Estudos de laboratório e de campo mostraram que um betão de alta qualidade, com durabilidade melhorada, pode ser produzido usando agregado de betão reciclado, É possível obter economias significativas no transporte de materiais e nos custos de descarte por meio da reciclagem, principalmente em áreas urbanas,

A reciclagem de pavimentos PCC pode ser dividida em dois grupos:

1. reciclagem de pavimento
2. Usina de reciclagem central

Ambas as técnicas de reciclagem de pavimento foram utilizadas em estradas contendo betão de cimento Portland, No entanto, as técnicas de reciclagem de revestimentos aplicadas aos pavimentos de betão são mais frequentemente consideradas como uma operação de remoção de pavimentos, O pavimento removido pode ser reciclado,

G.14.1 Reciclagem de revestimento

Técnicas de reciclagem de revestimentos envolvem o uso de técnicas de fresagem a frio ou nivelamento a frio que são capazes de remover economicamente até aproximadamente duas polegadas de betão em uma única passagem, O tráfego pode operar por longos períodos de tempo na superfície fresada, ou pode ser colocada uma camada de Betão betuminoso,

A sequência de operações envolvendo reciclagem de revestimento é a seguinte:

1. Estabelecimento de linha de classificação desejável,

2. Fresagem, retificação ou nivelamento do pavimento até a profundidade desejada,
3. Limpeza envolvendo vassoura rotativa e equipamento de vácuo,
4. Descarte ou reciclagem das fresas,

As operações de reciclagem de revestimentos envolvendo coberturas utilizam a sequência de operações descrita acima, com a adição de uma rega de colagem e revestimento de Betão betuminoso,

As operações de fresagem de pavimentos são adequadas para a remoção de ondulações superficiais severas localizadas, causadas por dilatação de argilas, etc, A fresagem também é adequada para remoção de pavimento antes da cobertura ao longo de calhas, em aproximações de pontes e outras áreas onde uma borda de Betão betuminoso ou betão de cimento Portland é susceptível a abrasão; e para melhorar a drenagem, a textura do revestimento e a resistência à derrapagem,

Uma vantagem adicional da reciclagem do revestimento é o aumento na resistência de união entre um betão de cimento Portland fresada e uma cobertura em comparação com uma operação normal de cobertura,

G.14.2 Reciclagem em Central

As operações de remoção e britagem de pavimentos são realizadas com equipamentos convencionais de construção e demolição ou equipamentos especialmente projectados, O antigo pavimento de betão é normalmente quebrado de tal forma que o tamanho da laje resultante é pequeno o suficiente para ser recebido pelo britador primário, Redução adicional no tamanho da laje pode ser realizada no local de britagem, O dimensionamento da central pode ser realizado com equipamentos de britagem convencionais, fixos e portáteis; entretanto, o aço de reforço pode ser um problema e pode ter que ser removido em um ou mais dos seis locais de processamento,

1. Na niveladora durante a operação de carregamento,
2. Durante a operação de localização para a britagem, se ocorrer o empilhamento antes da britagem,
3. Na entrada para para,
4. Na correia transportadora após a britagem primária,
5. Na correia transportadora após a britagem final, ou
6. No armazem antes da mistura

O equipamento desenvolvido recentemente pulveriza o betão para tamanhos menores na niveladora e assim é possível uma remoção mais completa do ferro na niveladora,

As operações de misturana central são operações padrão, visto que são as técnicas utilizadas para a colocação e cura de materiais reciclados, Ajustes de granulometria (particularmente a adição de areias naturais) são feitos frequentemente para melhorar a trabalhabilidade,

G.14.3 Dimensionamento Estrutural

O dimensionamento estrutural do pavimento de PCC usando materiais reciclados pode ser feito, em princípio, usando as directrizes dadas no *Manual de Dimensionamento de Pavimentos*,

Em essência, o material reciclado não é visto de maneira diferente do material novo ou virgem em sistemas de pavimentos novos ou reabilitados, Portanto, o parâmetro de reabilitação estrutural mais importante para o material reciclado é a caracterização da capacidade de carga (laboratório e/ou campo) do material,

A revisão de literatura indica que os coeficientes estruturais de materiais reciclados reflectem a extrema variação de materiais reutilizados e processos de reciclagem utilizados, No entanto, é igualmente evidente que os materiais reciclados têm a capacidade de serem equivalentes, ou maiores, às capacidades de dispersão de carga do que o material original, Com um bom controlo sobre o processo de reciclagem e com base em dados de ensaios de laboratório, um coeficiente estrutural apropriado pode ser avaliado para ser usado no dimensionamento,

Da mesma forma, as propriedades do betão feito com agregado reciclado apresentam algumas variações em relação ao betão feito com agregado virgem, conforme descrito a seguir,

G.14.4 Propriedades do Betão

O seguinte é uma comparação das propriedades do PCC feitas com agregado de betão reciclado e betão feito com agregado virgem:

1. A resistência à compressão do betão reciclado está entre 60 e 100% da resistência à compressão do betão convencional na mesma relação água-cimento, Aditivos redutores de água podem ser usados para obter betão de maior resistência com o mesmo teor de cimento, sem comprometer a funcionalidade,
2. O módulo de elasticidade estático do betão reciclado está entre 60 e 100% do módulo de betão convencional na mesma relação água-cimento,
3. A resistência à flexão do betão reciclado está entre 80 e 100% da resistência à flexão do betão convencional na mesma relação água-cimento,
4. O betão reciclado tem uma relação maior de resistência à flexão à resistência à compressão do que o betão convencional,
5. O betão reciclado de baixa resistência pode ser reciclado em betão de maior resistência através de um projecto adequado de mistura,
6. A durabilidade do betão feito com agregado susceptível a quebra de D pode ser substancialmente aumentada pela limitação do tamanho máximo do agregado,
7. A resposta do volume às mudanças de humidade e temperatura do betão reciclado não é significativamente diferente da do betão normal,

O facto de que o betão contendo agregado de betão reciclado tem uma proporção maior de resistência à compressão do que o betão convencional deve ser considerado se a resistência à compressão for usada como critério de aceitação ou temporização da abertura antecipada de projectos de reconstrução,

Todos os comentários acima sobre o desempenho de agregados de betão reciclado em revestimentos de betão se aplicam ao seu uso em camadas de base de betão , O

agregado de betão reciclado foi usado em bases de betão pouco antes de ser usado em revestimentos de betão, porque não se sabia o suficiente sobre seu desempenho em camadas de revestimento,

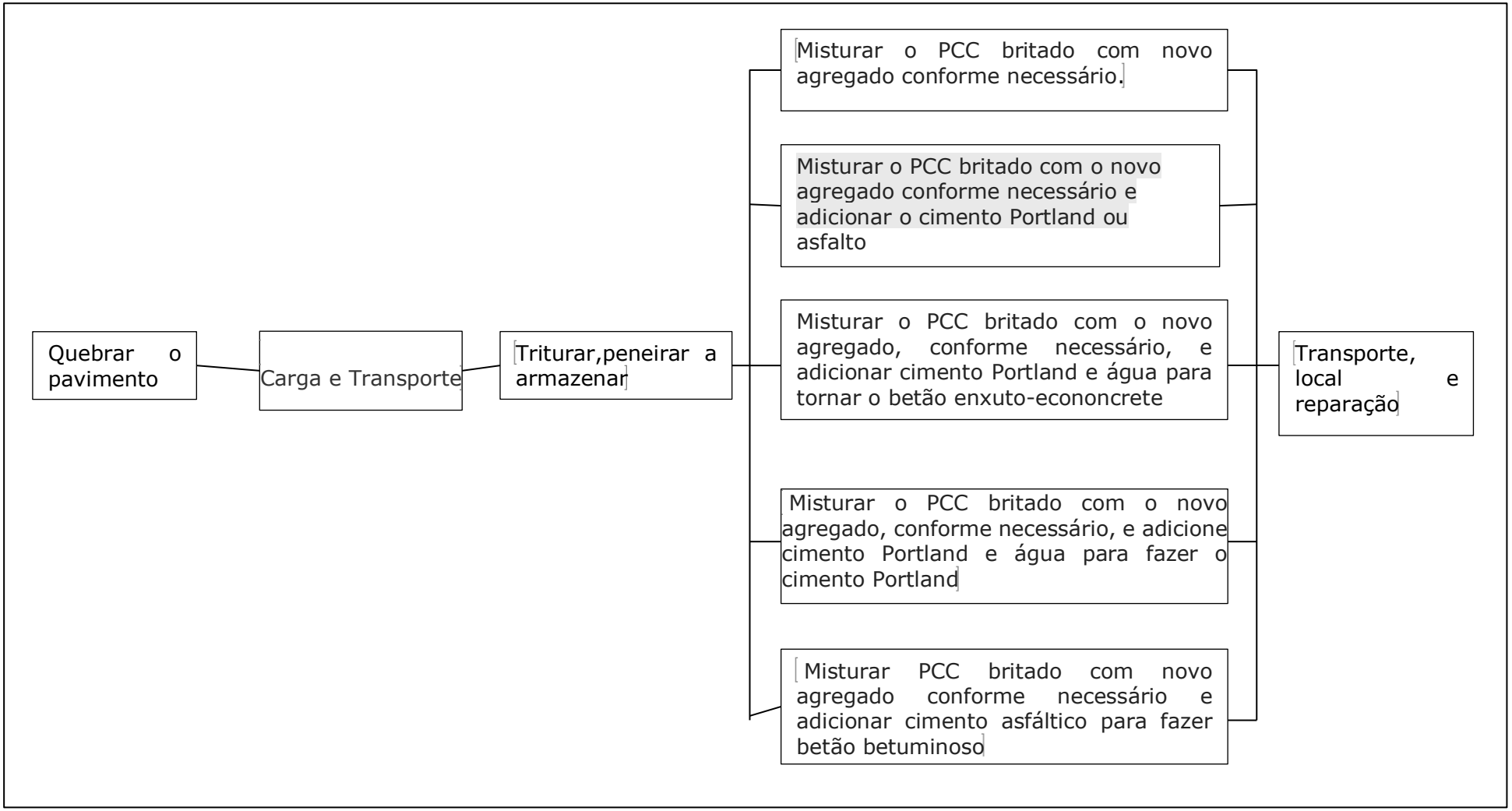


Figura G-2 Reciclagem de pavimento de betão de cimento Portland

Apêndice H

Formulário de Pesquisa das Condições de Estradas Revestidas

Apêndice H Formulário de Pesquisa das Condições de Estradas Revestidas

Levantamento da condição das estradas pavimentadas			**Data**		**Inspector**		**Distrito**		
Estrada Nº	**Início Km**		**Direcção: De**			**Para**		**Fim da Km**	
Bloco Nº		**ESQUERDA**		**DIREITO**		**Comentários/Acções**			
		Gravidade	**Extensão**	**Gravidade**	**Extensão**				
Dreno lateral	Silte								
	Erosão								
Berma	Deformar								
	Erosão								
	Vegatação								
Cascata									
Bordo danificado									
Profundidade da rodeira									
Fissuração	Tipo								
	Intensidade								
	Posição								
	Extensão								
	Largura								
Buracos/Remendos									
Exsudação									
Desgaste									
Corrugações									
Textura da superfície									
Polimento do agregado									

Notas:	**Notas sobre as medições utilizadas (se diferentes dos métodos padrão)**
Extensão de Defeitos	
1 = Comprimento do bloco afectado é <10%	
2 = Comprimento do bloco afectado é 10% -50%	
3 = O comprimento do bloco afectado é de 50%	

Outras observações de campo

Figura H-1 Formulário de Pesquisa das Condições de Estradas Revestidas

Manual de Dimensionamento para a Reabilitação de Pavimentos Betuminosos

ANE
ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS