

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

JONAS HENRIQUE TEIXEIRA

ALGUMAS METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BAIXO
VOLUME DE TRÁFEGO

Guaratinguetá

2012

JONAS HENRIQUE TEIXEIRA

ALGUMAS METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BAIXO
VOLUME DE TRÁFEGO

Trabalho de graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

Guaratinguetá

2012

T266m Teixeira, Jonas Henrique
Metodologias de avaliação de pavimentos para pavimentos
de baixo volume de tráfego / Jonas Henrique Teixeira
. – Guaratinguetá : [s.n], 2012

51 f.
Bibliografia : f. 49-51

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá,
2012
Orientador: Prof . Dr. Luiz Eduardo de Oliveira

1. Pavimentos de concreto asfáltico I.Título
CDU 625.8

**METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO PARA PAVIMENTOS DE BAIXO
VOLUME DE TRÁFEGO**

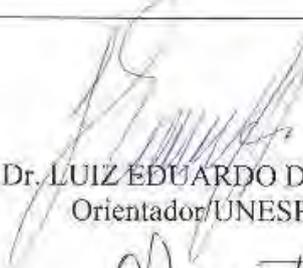
JONAS HENRIQUE TEIXEIRA

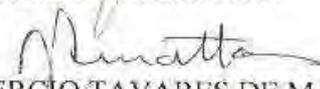
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHEIRO CIVIL"

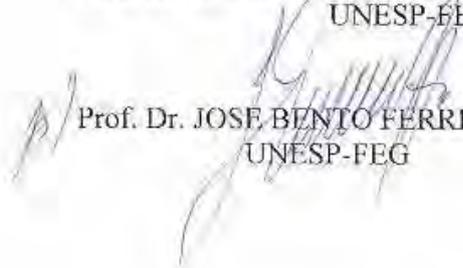
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Prof. Dr. YZUMI TAGUTI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. LUIZ EDUARDO DE OLIVEIRA
Orientador UNESP-FEG


Prof. Dr. JUERCIO TAVARES DE MATTOS
UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSE BENTO FERREIRA
UNESP-FEG

Dezembro de 2012

TEIXEIRA, H. J. **Algumas metodologias de avaliação de pavimentos de baixo volume de tráfego**. 2012 54f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar e comparar alguns dos diversos métodos de avaliação de pavimentos com base em normas e pesquisas realizadas por outros autores, com o foco em pavimentos de baixo volume de tráfego que são, em geral, pavimentos flexíveis mais econômicos submetidos a baixos níveis de carregamentos. Foram abordados métodos de avaliação estrutural e superficial aplicados a esse tipo de pavimento, expondo de forma clara os procedimentos a serem realizados, suas vantagens e desvantagens, bem como os resultados obtidos na execução de cada um destes. Este tema foi escolhido pela grande utilização desse tipo de pavimento na malha rodoviária do país e pelo fato de não existir ainda a cultura da prática de avaliação e tampouco conhecimento técnico por parte de prefeituras municipais que normalmente são responsáveis pela administração dessas rodovias. Este estudo também tem o intuito de orientar na tomada de decisões em processos de manutenção preventiva ou de caráter restaurador, pois muitas vezes são realizadas melhorias que não resolvem de fato o problema real das rodovias.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos de Avaliação. Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego.

TEIXEIRA, H. J. **Some evaluation methods for low traffic volume pavements.**2012
54f. Graduate Work (Graduate in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia de
Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

This work has as objective, show and compares some of several evaluation methods of pavements, based in the rules and researches realized by another authors, with focus on low traffic volume pavements, which are generally more economic flexible pavements subjected to low loads. Were addressed structure evaluation methods and superficial evaluation methods applied to that kind of pavement, exposing of clearly the procedures to be performed, the advantages and disadvantages, as well the results obtained in the execution of each one of these. This theme was chosen by the widespread use of this type of pavement in the road network of the country and the fact that there is no still a culture of the practical of evaluation nor technical knowledge on the part of municipal governments that are usually responsible for these roads. This study also aims to guide the process of maintenance preventive or recuperative, as they are often made improvements that do not actually solve the real problem of the roads.

KEYWORDS: Evaluation Methods. Low Traffic Volume Pavements.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos defeitos (DNIT005-2003).....	26
Tabela 2 - Classificação dos defeitos (DNIT005-2003)	26
Tabela 3 – Fator de ponderação (DNIT 006/2003).....	27
Tabela 4 – Fator de ponderação fp (DNIT 006/2003)	28
Tabela 5 – Índices de deformação e de fissuração (PRESTES,2001)	29
Tabela 6 - Obtenção do Índice Global de Degradação(PRESTES,2001)	30
Tabela 7 - Correção do Índice Global de Degradação(PRESTES,2001).....	30
Tabela 8 - Posicionamento dos pontos (DNER-ME 027/94).....	34
Tabela 9 – Parâmetro z (DNER-PRO011-79).....	39
Tabela 10 - Fator de Correção Sazonal Fs (DNER PRO011-79).....	40
Tabela 11- Tabela de Avaliação (DNER PRO011-79).....	41
Tabela 12- Tabela de comparação dos métodos.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pavimento flexível	12
Figura 2 – Pavimento Rígido.....	12
Figura 3 – Pavimento de Baixo Volume de Tráfego (SANTANA, 2012).....	13
Figura 4 – Fases da vida de um pavimento (DNER-PRO010-79, 1979).....	14
Figura 5 – Efeito da carga sobre o pavimento (DNER-PRO010-79, 1979).....	15
Figura 6 – Fenda tipo trinca (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS).....	16
Figura 7 - Trinca interligada tipo Couro de Jacaré (BERNUCCI et al., 2008)	17
Figura 8 - Trinca interligada tipo Bloco (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS).....	18
Figura 9 – Afundamento plástico (ABEDA).....	19
Figura 10– Corrugação (ABEDA).....	19
Figura 11– Escorregamento(ABEDA).....	20
Figura 12 – Exsudação (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)	21
Figura 13 – Desgaste (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)	22
Figura 14 – Panela (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)	23
Figura 15 – Estações de avaliação para pista simples.....	24
Figura 16 -Estações de avaliação para pista dupla	25
Figura 17 – Bacia de deformações e deformada (Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos DNER, 2006).	32
Figura18 - Viga Benkelman (DNER PRO 175/94)	33
Figura 19 - Equipamento utilizado no FWD DYNATEST (www.dynatest.com).....	35
Figura 20 - Método destrutivo (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS).....	37
Figura 21 - Cone de Penetração Dinâmica DCP (JORDÃO, 2009)	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. DESENVOLVIMENTO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1 Pavimentos.....	11
2.1.1 Pavimentos Flexíveis	11
2.1.2 Pavimentos Rígidos	12
2.1.3 Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego (BVT)	12
2.2 Conceitos e Definições	13
2.2.1 Deflexões do pavimento geradas por carregamento	15
2.2.2 Deflexões Permanentes x Deflexões Recuperáveis	15
2.3 Defeitos visíveis em pavimentos	16
2.3.1 Fenda.....	16
2.3.2 Afundamento	18
2.3.3 Ondulação ou Corrugação.....	19
2.3.4 Escorregamento	20
2.3.5 Exsudação	20
2.3.6 Desgaste	21
2.3.7 Painela.....	22
2.4 Métodos de avaliação de pavimentos.....	23
2.4.1 Métodos de avaliação superficial.....	23
2.4.1.1 Avaliação Objetiva da superfície de pavimentos (DNIT 006/2003).....	23
2.4.1.1 Método Vizir	29
2.4.2 Métodos de avaliação estrutural	31
2.4.2.1 Métodos Não Destrutivos	31
2.4.2.1.a Viga Benkelman.....	33
2.4.2.1.b FWD (Falling Weight Deflectometer)	34
2.4.2.1.c Processo de avaliação por retroanálise	35
2.4.2.1 Métodos Destrutivos.....	36
2.4.2.2.a Avaliação pelo método DNER PRO011-79	37
2.4.2.2.b Cone de Penetração Dinâmica DCP	41
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	43
4. COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS	44

4.1	Parâmetros de comparação.....	44
4.1.1	Objetivo da avaliação.....	44
4.1.2	Recursos Financeiros	45
4.1.4	Corpo técnico disponível.....	45
4.1.5	Características e condições da rodovia	45
4.2	Considerações e Recomendações dos métodos apresentados.....	46
4.2.1	Método DNIT006	46
4.2.4	Retroanálise	47
4.2.4.1	Retroanálise utilizando a Viga Benkelman	47
4.2.4.2	Retroanálise utilizando o FWD	48
4.2.5	Método DNER PRO011-79	48
4.3	Tabela de comparação.....	48
5	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

Devido à grande utilização e dependência do transporte rodoviário no país, é extremamente importante conhecer as condições funcionais e estruturais das rodovias de modo a mantê-las em serviço, isso é possível através de manutenções constantes, ações de melhoria e eventualmente de reconstruções. Para tanto, são utilizados procedimentos que indicam a situação funcional e estrutural e ainda o período de vida restante que o pavimento apresenta trabalhando em condições adequadas. Essas informações auxiliam na tomada de decisões por parte dos órgãos administradores destas rodovias, pois permitem priorizar as intervenções de acordo com a gravidade dos problemas encontrados.

Como outras estruturas em geral, as estradas apresentam um determinado tempo de vida útil, no entanto esse período só será alcançado desde que sua utilização seja feita de forma correta, ou seja, como previsto em projeto. A partir de um período pré-estabelecido, denominado horizonte de projeto, determina-se um número total de solicitações de eixo padrão, através do qual é possível dimensionar as camadas do pavimento. Contudo, em muitos casos os pavimentos são solicitados de forma não prevista, o que acaba gerando um desgaste acelerado da rodovia. Além disso, a ocorrência de problemas na fase de execução, a falta ou ineficiência de sistemas de drenagem e a incidência de fatores ambientais, como as chuvas, aceleram ainda mais o processo de degradação da estrutura. Desta forma, para se quantificar o grau de degradação, são utilizadas metodologias de avaliação de pavimentos.

Existem diversos métodos de avaliação para os diferentes tipos de pavimentos conhecidos, no entanto, a abordagem deste trabalho é limitada aos pavimentos de baixo volume de tráfego, os quais são amplamente utilizados, devido a sua estrutura mais simples e de baixo custo, que atende as solicitações em vias onde não há um grande fluxo de veículos. Geralmente o objetivo da construção de uma rodovia com esse tipo de pavimento é proporcionar menores custos, o que acaba se confundindo com descuido e falta de manutenção dessas vias. Nesse contexto, este trabalho apresenta algumas metodologias de avaliação que auxiliam no direcionamento correto de processos de manutenção reativa e preventiva, dando o diagnóstico das condições reais dos pavimentos, onde serão apresentadas suas vantagens e limitações, de modo a subsidiar a escolha de acordo com cada situação e recursos disponíveis.

O objetivo deste trabalho é apresentar os métodos de avaliação aplicáveis aos pavimentos de baixo volume de tráfego, apresentando suas vantagens e desvantagens de modo a auxiliar na escolha do método de avaliação adequado às condições da rodovia a ser avaliada.

2. DESENVOLVIMENTO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Pavimentos

Há diversas definições para pavimentos de baixo volume de tráfego, uma delas é de que o número N de projeto não exceda 10^6 repetições de carga, equivalente ao eixo padrão, de 82kN durante o período de utilização considerado (AASHTO, 1986), alguns autores e órgãos rodoviários adotam como um pavimento que tem um tráfego médio diário de até 400 veículos por dia (SANTANA, 2012). Entretanto, o importante é saber que esse tipo de pavimento está presente em grande parte da malha rodoviária brasileira e que em muitos casos verifica-se a falta de qualidade no processo de execução e conseqüentemente a grande incidência de defeitos durante o período de utilização.

É importante entender também que existem diferentes tipos de pavimentos e, evidentemente que para cada tipo existem métodos de avaliação mais adequados. Abaixo é apresentada uma breve descrição da estrutura dos tipos de pavimento.

2.1.1 Pavimentos Flexíveis

Pavimento revestido por materiais betuminosos ou asfálticos, composto por camadas que não trabalham a esforços de tração (MERIGHI, 2004). A camada de revestimento pode ser tratamento superficial, concretos asfálticos ou betuminosos, escolhida de acordo com as características do tráfego da via. Possui base e sub-base granulares que permitem o comportamento flexível da estrutura onde as cargas solicitantes são distribuídas por essas camadas (figura 1).

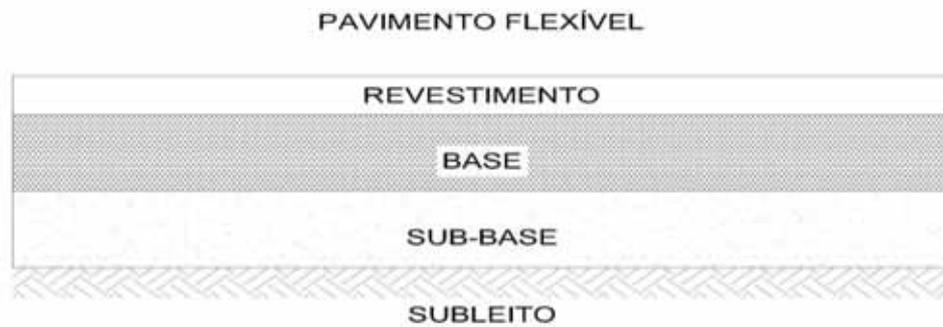


Figura 1 – Pavimento flexível

2.1.2 Pavimentos Rígidos

Pavimento basicamente constituído por uma placa de concreto sobre camadas granulares, onde essas têm a característica de resistir a esforços de tração (MERIGHI, 2004). Nesse tipo de estrutura, o revestimento de concreto é responsável por suportar maior parte das cargas, não havendo grandes deformações no pavimento (figura 2).

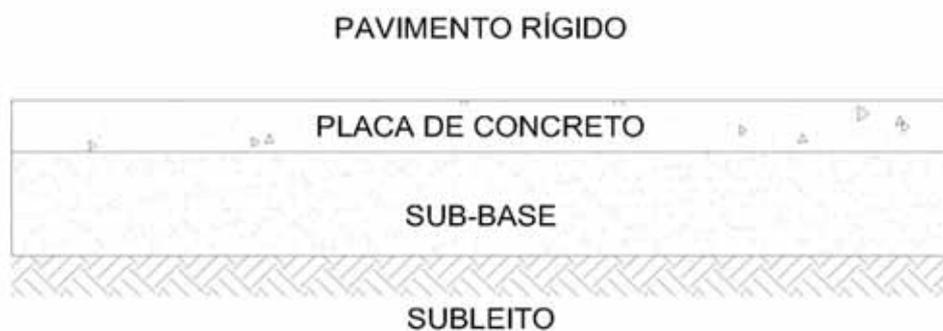


Figura 2 – Pavimento Rígido

2.1.3 Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego (BVT)

Os pavimentos BVT, normalmente apresentam a seguinte configuração apresentada por SANTANA (2012) na Figura 3.

PAVIMENTO DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

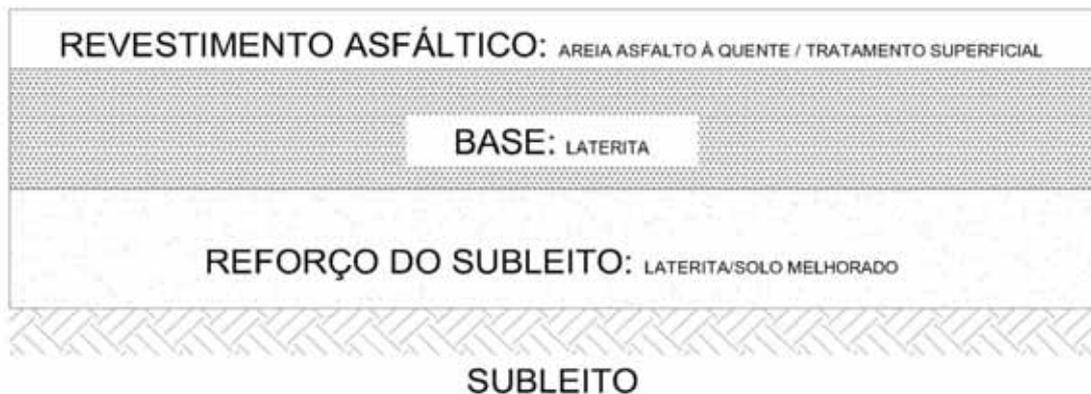


Figura 3 – Pavimento de Baixo Volume de Tráfego (SANTANA, 2012)

Por não apresentarem, em geral, uma camada rígida de concreto, os pavimentos de baixo volume de tráfego têm características de pavimento flexível, no entanto, neste caso devido à menor espessura do revestimento, as camadas granulares são responsáveis por resistirem à maior parte dos carregamentos. Portanto, deve-se dar importância na escolha desses materiais bem como ao processo executivo, para que não ocorra degradação antecipada da estrada (BRITO; DAWSON, 2007). Embora haja essas peculiaridades, os pavimentos de baixo volume de tráfego, funcionam como pavimentos flexíveis por isso são utilizados basicamente os mesmos métodos de avaliação para este tipo, porém em alguns casos é necessário se realizar algumas adaptações como será apresentado adiante.

2.2 Conceitos e Definições

Para o estudo de avaliação das condições dos pavimentos, é imprescindível entender os conceitos de deflexões e deformabilidade, pois como será apresentado nos próximos itens, esses fatores resultam nas patologias decorrentes ao longo de sua utilização.

É evidente que ocorrerão deformações durante o período de utilização de uma estrada, pois se tratam de materiais deformáveis que estão constantemente solicitados por esforços, variações de temperatura e por intempéries. A norma rodoviária DNER-PRO010-79 apresenta

um gráfico (figura1) das deflexões ocorridas em pavimentos em condições normais, ou seja, executado conforme as práticas normativas, e sub-dimensionados ao longo do tempo.

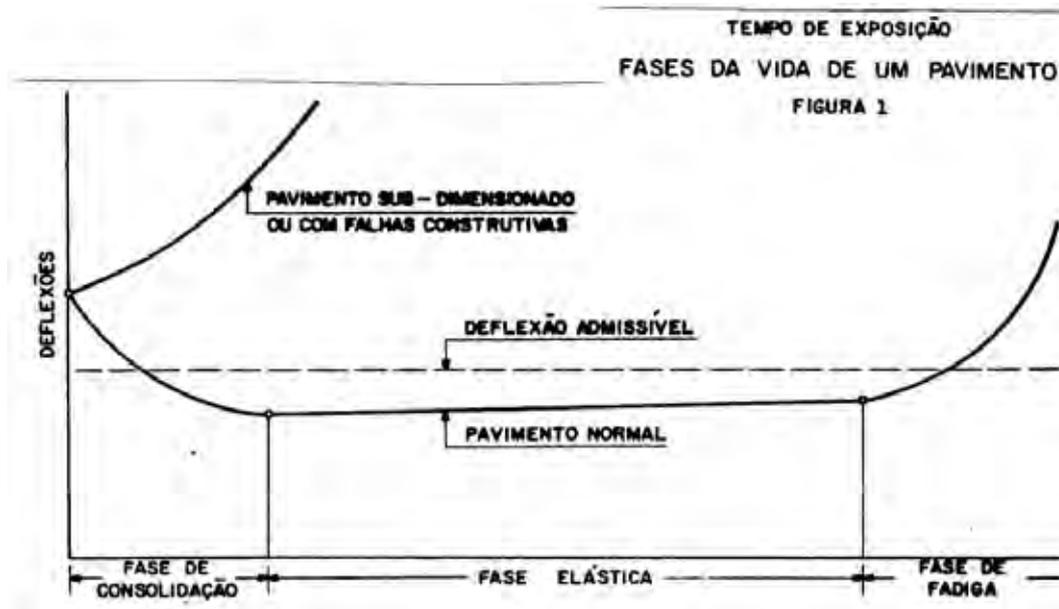


Figura 4 – Fases da vida de um pavimento (DNER-PRO010-79, 1979).

Há três fases durante o período de utilização do pavimento, fase de consolidação, fase elástica e fase de fadiga. A fase de consolidação ocorre logo após o término da construção, onde se inicia o fluxo de veículos, caracterizada por ocorrer deformações decrescentes. A fase elástica apresenta deformações praticamente constantes que eventualmente tem um aumento devido a fatores sazonais e por carregamentos fora do valor médio. E por último a fase de fadiga, onde as deformações são crescentes e é onde os defeitos começam a aparecer e a agravar as condições de utilização da via. Nota-se que nos pavimentos sub-dimensionados as deflexões se agravam rapidamente, acelerando o aparecimento de defeitos e, portanto, diminuindo seu tempo de vida útil, como visto na figura 4.

2.2.1 Deflexões do pavimento geradas por carregamento

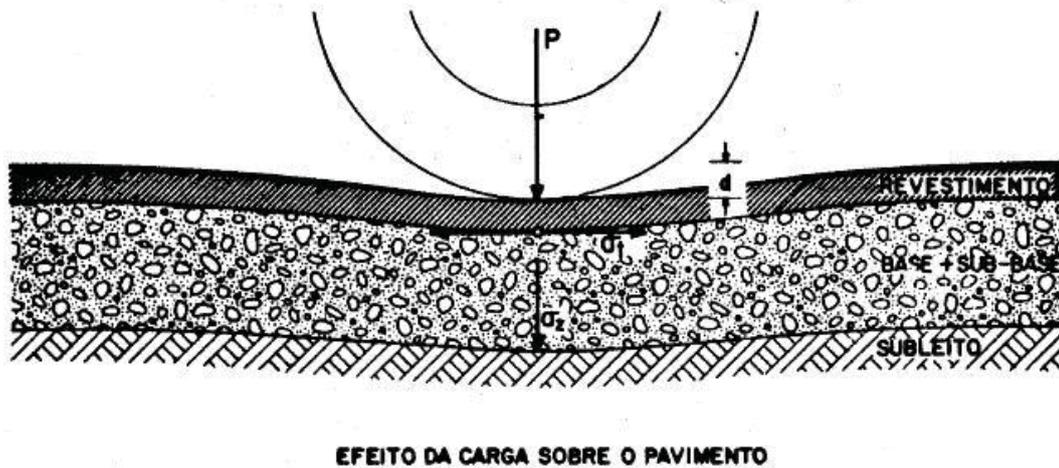


Figura 5 – Efeito da carga sobre o pavimento (DNER-PRO010-79, 1979).

A figura 5 mostra a deflexão proporcionada pela carga de um veículo em um pavimento flexível. A carga P gera tensões horizontais de tração σ_t , proporcionando deformações ϵ_t que devem ser limitadas para que não ocorram trincas na camada de revestimento. É gerada também, uma tensão vertical de compressão σ_z que deve ser inferior a tensão admissível do subleito obtida no ensaio CBR (California Bearing Ratio) ou ISC (Índice de Suporte Califórnia).

2.2.2 Deflexões Permanentes x Deflexões Recuperáveis

Deflexões Permanentes são aquelas que permanecem após a retirada da carga, ou seja, apresentam caráter residual, já as Deflexões Recuperáveis se caracterizam pelo comportamento elástico, onde as deformações deixam de existir após a cessão do efeito da carga (DNIT, 2005). Segundo BERNUCCI et al. (2008) as deformações recuperáveis ou elásticas causam efeito de fadiga no revestimento proporcionando problemas muito comuns, principalmente as trincas, enquanto que as deformações permanentes ou plásticas causam danos acumulativos ao longo da vida do pavimento, tais como os afundamentos.

2.3 Defeitos visíveis em pavimentos

Na execução de algumas metodologias, sobretudo as de caráter superficial, utiliza-se um padrão para nomenclatura e identificação das patologias presentes na rodovia.

Os defeitos descritos abaixo são problemas comumente vistos em pavimentos e estão definidos na norma do DNIT - Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos

2.3.1 Fenda

Segundo descrição do DNIT (2003), fenda é qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob forma de fissura ou trinca. Fissura é uma fenda de largura capilar, que pode ser vista a uma distância inferior a 1,50m e que não afetam a funcionalidade do pavimento. As fissuras são causadas por problemas na mistura asfáltica ou na execução do revestimento.



Figura 6 – Fenda tipo trinca (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)

Trinca é uma Fenda de maior espessura em relação à fissura, que pode ser vista facilmente e pode ocorrer de forma isolada (figura 6) ou interligada (figura 7). As trincas isoladas são divididas em transversal, longitudinal e de retração, onde o sentido da trinca é definido em relação ao eixo da via.

A norma do DNIT caracteriza as trincas longitudinais e transversais como consequência da fadiga gerada pelos carregamentos e as trincas de retração, como efeito da retração térmica do revestimento. Já PEDRAZZI (2004), afirma que as trincas transversais e longitudinais ocorrem devido a contração térmica da capa asfáltica, sendo que as longitudinais também podem ocorrer devido a problemas no momento da execução de juntas, no lançamento do concreto asfáltico.

As trincas interligadas (figura 7), podem ser do tipo “couro de jacaré” ou tipo bloco. O primeiro é causado pela fadiga das camadas do pavimento submetido a ação repetida dos carregamentos. O segundo ocorre, geralmente, devido ao endurecimento ou envelhecimento da camada asfáltica. Visualmente, o que difere um do outro é que no primeiro tipo as trincas formam placas de tamanhos variados, enquanto que no segundo as placas apresentam certa homogeneidade.



Figura 7 - Trinca interligada tipo Couro de Jacaré (BERNUCCI et al., 2008)



Figura 8 - Trinca interligada tipo Bloco (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)

2.3.2 Afundamento

O defeito de afundamento é caracterizado pela depressão na superfície do pavimento. É considerado plástico quando é gerado pela fluência das camadas onde ocorre solevamento (figura 9) da superfície, e consolidado quando ocorre a consolidação de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, neste caso não há o solevamento. Os afundamentos podem ser causados por excesso de carregamento ou por baixa compactação da base e subleito.



Figura 9 – Afundamento plástico (ABEDA)

2.3.3 Ondulação ou Corrugação

Defeito caracterizado pela ocorrência de ondulações na superfície do pavimento transversalmente ao eixo da via (figura 10). Ocorrem devido a erros de dimensionamento que resultam em bases instáveis e pelo excesso de asfalto, que possui baixa resistência.



Figura 10– Corrugação (ABEDA)

2.3.4 Escorregamento

Deslocamento do material de revestimento, evidenciado por sua deformação em forma de meia-lua, uma das causas é o excesso de asfalto, porém geralmente está relacionado a locais de parada de veículos que proporcionam esforço cisalhante ao pavimento (figura 11).



Figura 11– Escorregamento(ABEDA)

2.3.5 Exsudação

Mancha brilhosa na superfície ocasionada pelo excesso de ligante betuminoso, que é expulso do pavimento quando o revestimento sofre dilatação (figura 12).



Figura 12 – Exsudação (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)

2.3.6 Desgaste

É o arrancamento do agregado do pavimento, devido á perda da camada de revestimento proporcionada pelo tráfego intenso e ao intemperismo. Este defeito é caracterizado pela aspereza superficial e está relacionado ao envelhecimento do revestimento e a forte ação de intemperismo (figura 13).



Figura 13 – Desgaste (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)

2.3.7 Panela

São buracos que surgem no pavimento que vão da superfície até as camadas inferiores e são gerados por diversos fatores, dentre eles podemos citar a má aderência entre as camadas que causa deslocamento entre estas (figura 14). Segundo SILVA (2005) Esses buracos são evoluções das trincas, afundamentos ou desgastes.



Figura 14 – Panela (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)

2.4 Métodos de avaliação de pavimentos

Embora algumas patologias em pavimentos sejam visualmente perceptíveis, é necessário utilizar alguns métodos de avaliação para analisar qualitativamente os problemas apresentados. As avaliações podem ser para fins funcionais, ou seja, para verificar as condições de utilização e segurança, e para fins estruturais, avaliando a estrutura do pavimento em relação à sua capacidade de carga. Por isso, tais métodos são divididos em Métodos de avaliação superficial e Métodos de avaliação estrutural.

2.4.1 Métodos de avaliação superficial

2.4.1.1 Avaliação Objetiva da superfície de pavimentos (DNIT 006/2003)

A avaliação superficial serve para identificar os tipos, a severidade e a extensão de defeitos visíveis e para o julgamento da necessidade de uma avaliação estrutural (DNIT006-2003). Tem como vantagem, um diagnóstico mais rápido das condições do pavimento em

análise, quando se deseja estabelecer prioridades dentro de um plano de investimentos de manutenção.

O método apresentado na norma DNIT 006/2003, avalia a condição do pavimento a partir da quantidade de defeitos levantados e da medida das deformações nas trilhas de roda.

Primeiramente, são determinadas as superfícies de avaliação, a partir dos seguintes critérios:

-No caso de pista simples, em cada faixa de tráfego tem-se uma estação a cada 40 metros, sendo que a estação da faixa da direita deve se alternar com a da esquerda, conforme ilustrado na figura 15.

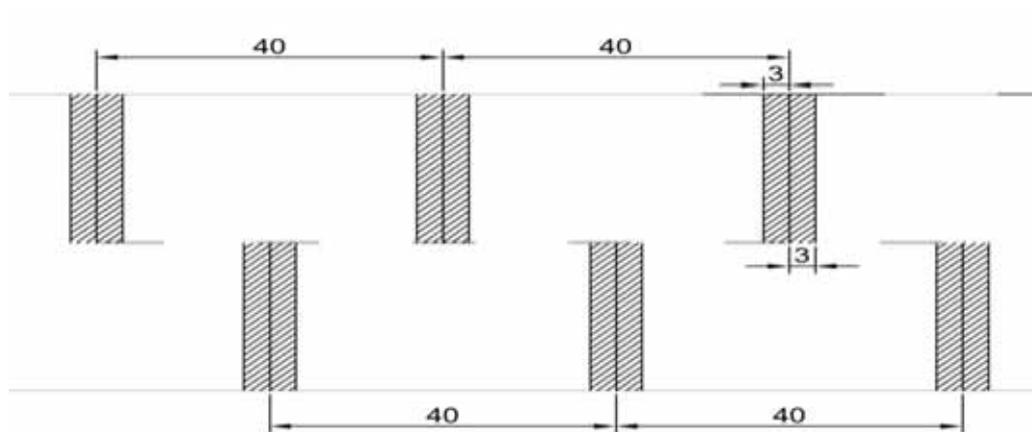


Figura 15 – Estações de avaliação para pista simples

- Para pista dupla, as estações são tomadas a cada 20 metros na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista.

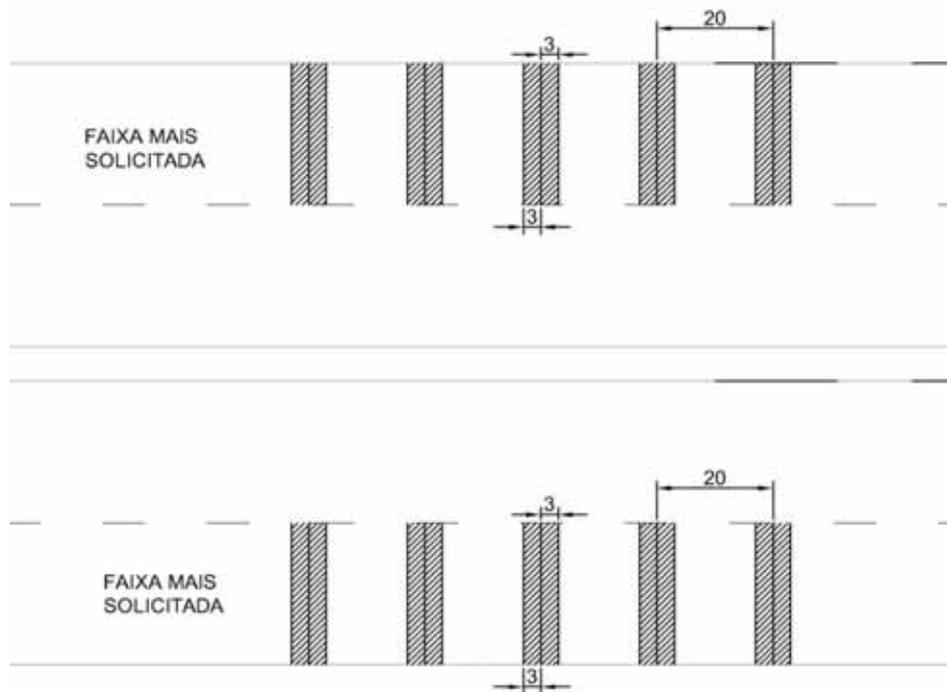


Figura 16 -Estações de avaliação para pista dupla

Em ambos os casos, a superfície de avaliação é delimitada por duas seções transversais ao eixo da pista, sendo uma seção localizada 3 metros antes da estação e outra a 3 metros depois. Uma vez determinadas, devem ser marcadas com tinta os limites da superfície de avaliação, bem como a numeração correspondente as estações.

Utilizando-se da treliça de alumínio, são levantadas as flechas nas trilhas de roda em cada superfície de avaliação determinada, tomando-se a maior medida entre a trilha do lado interno e a do lado externo. Outros defeitos como trincas, panelas, entre outros descritos anteriormente, também devem ser constatados no levantamento. Para efeito de praticidade e padronização, as ocorrências observadas devem ser anotadas conforme as tabelas 1 e 2, da norma DNIT005-2003 apresentada abaixo.

Quadro resumo dos defeitos – Codificação e Classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3

Tabela 1 – Classificação dos defeitos (DNIT005-2003)

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos		Remendo Superficial		RS
		Remendo Profundo		RP

Tabela 2 - Classificação dos defeitos (DNIT005-2003)

Onde, FC1 são trincas de abertura menor que 1 mm e FC2 são trincas com abertura maior que 1 mm sem erosão e FC3 são trincas com abertura maior que 1 mm com erosão.

Após a fase de levantamento de campo, são calculados os parâmetros, a partir dos quais será feita a avaliação das condições do pavimento. Primeiro calcula-se o Índice de Gravidade Individual (IGI) para cada tipo de defeito, onde :

$$IGI = Fr \cdot fp \quad (1)$$

Fr é a frequência relativa que representa o numero de observações, ou frequência absoluta, dividido pelo numero de estações consideradas, e fp é o fator de ponderação que varia conforme o tipo de defeito, conforme Tabela 3 – **Fator de ponderação (DNIT 006/2003)** abaixo.

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER "Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia" (ver item 6.4 e Anexo D)	Fator de Ponderação fp
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE) NOTA: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em percentagem (fr) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Tabela 3 – Fator de ponderação (DNIT 006/2003)

No caso das flechas na trilha de roda, o fator de ponderação fp e o índice de gravidade individual IGI variam de acordo com a média aritmética das médias \bar{X} e com a média aritmética das variâncias $\overline{S^2}$ das flechas. Para isso precisamos primeiro calcular a média \bar{x} e a variância S^2 das flechas dentro de cada faixa.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{\bar{x}}{n} \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

$$\overline{s^2} = \sum \frac{s^2}{n} \quad (5)$$

$\overline{X} \leq 30$	fp = 4/3
$\overline{X} > 30$	IGI = 40
$\overline{s^2} \leq 50$	fp = 1
$\overline{s^2} > 50$	IGI = 50

Tabela 4 – Fator de ponderação fp (DNIT 006/2003)

E por fim calcula-se o Índice Geral de Gravidade IGG, que é a soma dos índices de gravidade individuais e, através do qual determinaremos a condição do pavimento em estudo.

$$IGG = \sum IGI \quad (6)$$

Avaliação do pavimento com base no IGG

$0 < IGG \leq 20$ Ótimo

$20 < IGG \leq 40$ Bom

$40 < IGG \leq 80$ Regular

$80 < IGG \leq 160$ Ruim

$IGG > 160$ Péssimo

Nota-se que o IGG é um índice que aumenta conforme a frequência dos defeitos observados, porém de uma forma ponderada dando maior peso aos defeitos considerados mais críticos.

2.4.1.1 Método Vizir

Criado na França na década de 70, este método de simples execução fornece uma avaliação ao pavimento, com base no tipo e na frequência de defeitos, os quais são classificados em dois tipos, A e B, o primeiro engloba os defeitos de natureza estrutural, tais como afundamentos na trilha de roda e trincas por fadiga, o segundo são aqueles que, geralmente, não estão relacionados à capacidade estrutural do pavimento, como desgaste do revestimento, panelas e exsudação. Os defeitos do tipo B estão associados a problemas de execução e à má qualidade dos materiais empregados.

No levantamento são registrados as fissuras, deformações e reparos feitos no pavimento e, em seguida é atribuída uma nota que varia de acordo com a severidade. O critério para tais notas é apresentado abaixo, segundo Prestes (2001).

Nota 0 = Ausência do defeito

Nota 1 = Baixo nível de severidade

Nota 2 = Moderado nível de severidade

Nota 3 = Alto nível de severidade

Após a classificação quanto à severidade do defeito, obtêm-se os índices de fissuração e de deformação, com base nessas notas atribuídas e na extensão relativa do defeito que é dividida em três intervalos, até 10%, entre 10% e 50% e valores maiores que 50%. Com isso os valores dos índices são obtidos através da **Tabela 5**.

Índice	Extensão / Gravidade	0 a 10%	10-50%	>50%
Índice de Fissuração	1	1	2	3
	2	2	3	4
	3	3	4	5
Índice de Deformação	1	1	2	3
	2	2	3	4
	3	3	4	5

Tabela 5 – Índices de deformação e de fissuração (PRESTES,2001)

Em seguida é obtida a Nota de Superfície, a qual é obtida a partir dos índices de fissuração e deformação através da tabela 6.

Id/If	0	1-2	3	4-5
0	1	2	3	4
1-2	3	3	4	5
3	4	5	5	6
4-5	5	6	7	7

Tabela 6 - Obtenção do Índice Global de Degradação(PRESTES,2001)

Em seguida faz-se uma correção (tabela 7) devido a eventuais reparos realizados, obtendo assim o Índice Global de Degradação. Tal correção é realizada, pois estes reparos geralmente são realizados como medida paliativa para disfarçar os problemas do pavimento, dando uma boa impressão visual podendo causar resultados incoerentes na avaliação.

Índice	Extensão / Gravidade	0 a 10%	10-50%	>50%
Correção por Reparos	1	0	0	0
	2	0	0	1
	3	0	1	1

Tabela 7 - Correção do Índice Global de Degradação(PRESTES,2001)

O Índice Global de Degradação I_s , varia de 1 a 7, sendo que a nota 1 representa a melhor situação e 7 a pior.

O método Vizir é uma ótima ferramenta quando se deseja ter uma rápida avaliação de estradas e quando não se dispõe de recursos. Pela sua simplicidade de execução, tem a vantagem de não exigir experiência e conhecimentos técnicos específicos por parte dos executantes.

2.4.2 Métodos de avaliação estrutural

É o levantamento das condições estruturais do pavimento, representando o grau de deterioração das camadas constituintes, de modo a fornecer o tempo de vida remanescente do pavimento, auxiliando na tomada de decisão de uma eventual ação de melhorias. A avaliação estrutural é dividida em métodos destrutivos e não destrutivos. Nos métodos destrutivos são coletadas amostras do próprio pavimento para a posterior análise em laboratório, desta forma é possível obter informações como, os limites de Atterberg, teor de umidade, permeabilidade e Índice de Suporte Califórnia (ISC) através de ensaios. Os métodos não destrutivos são denominados desta forma, pois não necessitam de retirada de amostras e não há danificações no pavimento. Avaliam as condições estruturais através das deflexões elásticas sofridas durante a aplicação de um carregamento, isso é possível, pois há uma relação entre deflexões e os problemas estruturais no pavimento.

2.4.2.1 Métodos Não Destrutivos

Os métodos não destrutivos fornecem as condições estruturais dos pavimentos sem a necessidade de extração de amostras e, portanto, sem apresentar danos as rodovias. Para isso, as informações das camadas são obtidas através da retroanálise, ferramenta computacional que obtém os módulos de elasticidade através do levantamento de deflexões obtido pela Viga Benkelman ou pelo Falling Weight Deflectometer.

Como já dito anteriormente, os pavimentos sofrem deflexões recuperáveis e permanentes devido à atuação dos carregamentos de tráfego. Estas deformações variam de acordo com a magnitude e geometria da carga e também variam conforme a capacidade de suporte do pavimento.

Considerando a aplicação de uma carga de roda dupla, denomina-se bacia de deformações a área que delimita o local onde ocorrem as deformações recuperáveis. Tal área tem a forma de elipse, cujo eixo maior coincide com a direção do tráfego. Se cortarmos

transversalmente e longitudinalmente a bacia de deformações, veremos que as deformações formam uma curva simétrica chamada deformada.

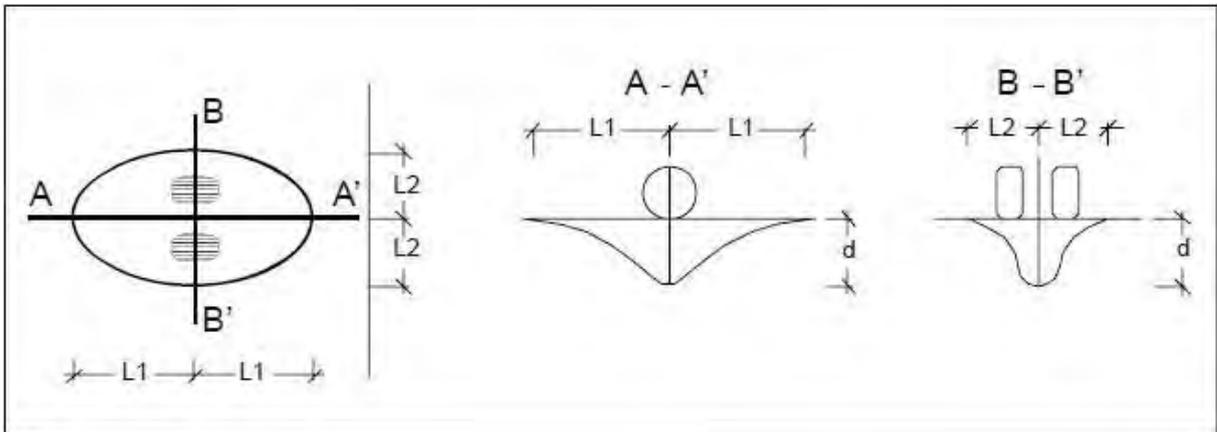


Figura 17 – Bacia de deformações e deformada (Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos DNER, 2006).

Observa-se que a deformada transversal é mais acentuada do que a longitudinal, tal fato justifica a ocorrência inicial de trincas no sentido longitudinal. Contudo as práticas de avaliação utilizam as medidas de deflexão da deformada longitudinal levando em consideração o valor da deflexão máxima recuperável d e o valor do raio de curvatura da deformada. Como o raio de curvatura está relacionado à severidade da deflexão, a fim de se obter o ponto mais crítico, leva-se em consideração o valor da deflexão dx no ponto onde o arqueamento da curva é maior. Considera-se que este ponto ocorra a 25cm do centro do carregamento. A análise do estado estrutural do pavimento é feita sobre o raio R , que é calculado da seguinte forma:

$$R = \frac{625o}{2(d_o - d_{25})} \quad (7)$$

Quanto menor o raio R , maior o arqueamento da deformada e, portanto, mais crítica a situação estrutural naquele ponto. Os valores de deflexão podem ser obtidos através de vigas de deflexão, equipamentos dinâmicos de vibração ou de impacto. A partir destes dois parâmetros será possível dar um diagnóstico do trecho analisado, com base no procedimento DNER PRO 07-79.

Antes de entrar em detalhes na etapa de avaliação propriamente dita, serão apresentados os métodos de medição das deflexões recuperáveis.

2.4.2.1.a Viga Benkelman

A Viga Benkelman (figura 18) é um aparelho destinado a medir deflexões em pavimentos através da aplicação de uma carga de 8,2 toneladas distribuída simetricamente sobre o eixo traseiro de um caminhão. Tal instrumento é constituído por uma alavanca articulada dotada de um extensômetro que com auxílio de uma trava permite registrar a deflexão elástica gerada pelo carregamento.

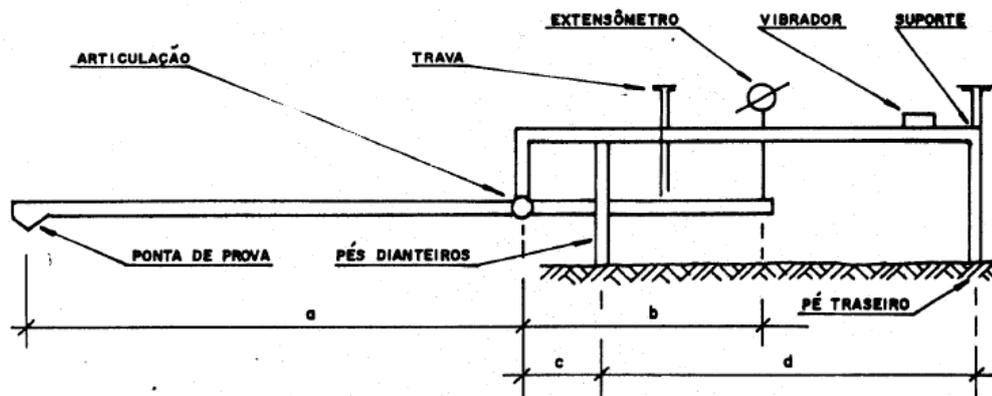


Figura18 - Viga Benkelman (DNER PRO 175/94)

O caminhão utilizado deve ter eixo simples com roda dupla e os pneus devem apresentar as seguintes dimensões: 900x20 ou 1000x20, com 12 lonas, frisos e deve possuir câmara.

Antes do início das medições, para a obtenção de resultados coerentes a viga deve estar devidamente calibrada, bem como a pressão nos pneus. Uma vez determinados as estações onde serão realizadas as medições, deve-se obedecer a distância do local da medição até a borda do revestimento que é variável conforme a largura da faixa de tráfego como estabelecido na norma DNER-ME 027/94.

Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50	0,90

Tabela 8 - Posicionamento dos pontos (DNER-ME 027/94)

Para a realização do ensaio posiciona-se a viga no ponto definido, de tal forma que sua ponta fique entre os pneus da roda dupla do caminhão. São realizadas duas leituras, uma inicial L_0 e uma final L_f , que é quando o carregamento está a, pelo menos, dez metros do ponto e no momento em que o vibrador acusa 0,01mm/min.

A Deflexão D_0 é dada por:

$$D_0 = (L_0 - L_f) \frac{a}{b} \quad (8)$$

2.4.2.1.b FWD (Falling Weight Deflectometer)

O FWD é um defletoômetro que mede, através de sensores, as deflexões elásticas ou recuperáveis geradas por uma carga que é solta de uma altura pré-determinada, transmitindo através de um sistema de molas, os esforços para uma placa circular em contato com a superfície. Diferentemente da Viga Benkelman que utiliza carga estática, o FWD simula um carregamento dinâmico, o que se torna mais próximo do que acontece na realidade. As deflexões são medidas pelos sensores que são posicionados de modo a se obter a bacia de deformações. Além de simular um carregamento dinâmico, o método tem ainda as vantagens de apresentar maior precisão em relação à viga Benkelman e por ter um sistema informatizado que permite uma análise mais rápida dos resultados. As desvantagens do uso deste equipamento são o custo relativamente alto e a dificuldade para efetuar a calibração, pois há poucas empresas que o fazem (BERNUCCI *et al.*, 2008).

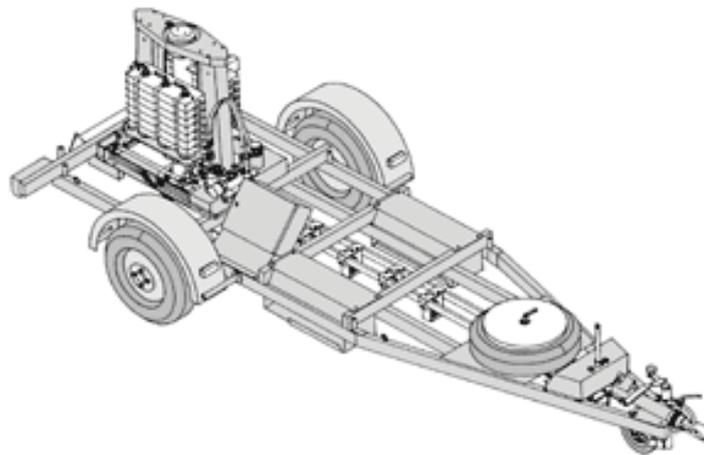


Figura 19 - Equipamento utilizado no FWD DYNATEST (www.dynatest.com)

Para a realização do ensaio faz-se primeiramente a calibração do equipamento, verificando a posição dos sensores e a altura de queda da carga, de modo a se obter resultados confiáveis. Uma vez determinadas as estações, as quais seguem a mesma regra apresentada para a Viga Benkelman (Tabela 4), inicia-se o processo de medição das deflexões nos locais marcados. O equipamento mostrado na Figura 19 é puxado por um veículo utilitário leve, fazendo o deslocamento de uma estação para outra. As medições das deflexões e da temperatura são feitas automaticamente pelo equipamento e registradas no computador que processa as informações e retorna como resultado a bacia de deformação e o raio de curvatura.

2.4.2.1.c Processo de avaliação por retroanálise

Após o levantamento da bacia de deformação dos pontos por um dos métodos apresentados, é possível calcular o módulo de elasticidade das camadas, esse parâmetro representa a relação entre tensão e deformação do material e será utilizado na avaliação dos trechos. Segundo BERNUCCI et al, dá-se o nome módulo de elasticidade pois este é calculado através da retroanálise e não determinado em laboratório através de ensaios triaxiais, como é o módulo de resiliência. Portanto, a Retroanálise é o processo que determina o módulo de elasticidade das camadas através de métodos iterativos que simulam estes valores, até que se encontre uma bacia de deformações próxima a encontrada

experimentalmente. São utilizados alguns programas de análise mecânica que se baseiam na teoria das multicamadas elásticas e no método dos elementos finitos. É necessário entrar com os valores das espessuras das camadas, tipo de solo e os valores de deflexão e do raio obtidos através dos métodos de medição apresentados.

As principais vantagens da retroanálise são a eliminação da necessidade de ensaios destrutivos, representação do estado real da estrutura, determinação dos módulos de elasticidade nas condições reais de campo, rapidez na obtenção dos resultados e redução de custo (NOBREGA, 2003).

Com os módulos encontrados, é possível determinar a capacidade de suporte (CBR) das camadas e através da comparação desses com valores recomendados para o pavimento em questão, é feita a avaliação.

2.4.2.1 Métodos Destrutivos

Os métodos destrutivos são aqueles que necessitam de coleta de amostras (figura 20) para a realização de ensaios em laboratório, tal fato os torna mais difíceis de serem realizados, demandam maior tempo de execução e segundo NOBREGA 2003, apresentam dificuldades de reprodução do estado de tensões e condições ambientais das camadas do pavimento, o que eventualmente pode gerar resultados não condizentes com a realidade. Contudo, não é descartada a utilização desses métodos, uma vez que os desvios são inerentes aos métodos de avaliação em geral e é interessante realizar a comparação dos resultados de diferentes métodos.



Figura 20 - Método destrutivo (MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS)

2.4.2.2.a Avaliação pelo método DNER PRO011-79

Este procedimento está classificado neste trabalho como método destrutivo, pois utiliza de extrações de amostras das camadas do pavimento para a verificação das espessuras e para a realização de ensaios para a determinação do ISC, ou seja, o pavimento precisa ser danificado, o que justifica essa classificação. Da mesma forma que nos métodos não destrutivos, é necessária a determinação das deflexões recuperáveis ou elásticas, especificamente para este método utiliza-se a Viga Benkelman, no entanto é possível utilizar outras ferramentas desde que sejam utilizadas correlações entre os métodos. Abaixo serão apresentadas as etapas para a execução do método de acordo com o procedimento do DNER.

Antes do procedimento propriamente dito, é realizado um estudo preliminar que consiste em levantar informações sobre o pavimento em estudo, através de levantamento histórico e de prospecção.

São levantadas as informações de projeto do pavimento, como número N, espessura das camadas, materiais constituintes e data de conclusão da obra. É interessante também obter informações sobre as características do tráfego atual que solicita o pavimento e de fatores climáticos da região. Em seguida são feitos poços de sondagem para a identificação preliminar das características do pavimento. São abertos com a utilização de pá e picareta e

devem estar localizados nos bordos da pista de forma alternada em relação ao eixo longitudinal da pista, e com distância de 2 km. Nessa etapa são determinados o ISC das camadas granulares, as massas específicas, as espessuras das camadas e granulometria do revestimento.

Após o estudo preliminar, é feita a demarcação das estações de ensaio, mesmo procedimento apresentado no item 2.3.1, onde serão realizadas as medições das deflexões recuperáveis. As deflexões são determinadas utilizando a Viga Benkelman, caso seja utilizado outro equipamento, como o FWD, deve-se utilizar correlação de modo a utilizar como base a medida da Viga Benkelman. São determinados também os raios de curvatura a cada 200 metros, sendo necessárias determinações intermediárias caso o raio encontrado seja menor que 100 metros.

Para complementar a avaliação estrutural, são considerados os defeitos superficiais evidenciados pela avaliação superficial objetiva apresentada no item 2.3.1. A análise final da condição estrutural depende do IGG (Índice de Gravidade Global), determinado nesse processo. Todas as informações coletadas, tanto na avaliação superficial quanto na estrutural são representadas graficamente de modo a fornecer uma visão geral dos trechos. O procedimento DNER PRO011-79 apresenta um modelo para tal representação, com as simbologias utilizadas, bem como algumas informações convenientes a serem consideradas, tais como, deflexão, raio de curvatura, espessura das camadas, nível d'água e as patologias ou defeitos observados na superfície.

Com essas informações o trecho em estudo deve ser dividido em segmentos homogêneos devido ao fato das características variarem ao longo da extensão do pavimento. A norma recomenda que o faça no mínimo a cada 200 m e no máximo 2 km, sendo que quando houver a necessidade de trechos menores, esses devem ser considerados isoladamente. Essas recomendações levam em consideração o levantamento de ambas as faixas de tráfego, caso seja necessário analisar cada faixa o valor mínimo do segmento passa a ser de 400 m.

Para cada um desses segmentos determinados, deve ser calculado o valor da deflexão de projeto D_p , para isso primeiro calcula-se a deflexão recuperável característica D_c , obtida através das etapas a seguir.

-Deflexão recuperável média

$$D = \sum \frac{D_i}{n} \quad (9)$$

Sendo n o número de medições feitas no segmento.

-Desvio Padrão

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(D_i - D)^2}{n - 1}} \quad (10)$$

De acordo com o número de medições n , define-se o limite de aceitação para os valores de D , através do parâmetro z , apresentado na Tabela 9 – **Parâmetro z (DNER-PRO011-79)**.

n	z
3	1
4	1,5
5-6	2
7-19	2,5
≥ 20	3

Tabela 9 – Parâmetro z (DNER-PRO011-79)

Os valores individuais D_i devem estar no intervalo $D \pm z\sigma$, caso não estejam, devem ser excluídos e todo o processo de cálculo, da deflexão média e desvio padrão, é refeito até que os valores individuais se enquadrem no intervalo. Quando isso ocorrer, o valor de D_c é obtido da seguinte forma:

$$D_c = D + \sigma \quad (11)$$

A norma recomenda que os ensaios deflectométricos sejam feitos logo após períodos chuvosos, onde as camadas estão com teor máximo de umidade, quando isso não for possível, utiliza-se um fator de correção (Tabela 10 - **Fator de Correção Sazonal F_s (DNER PRO011-79)**) de modo a obter a situação mais desfavorável. Desta forma, a deflexão recuperável de projeto é dada por:

$$D_p = D_c \cdot F_s \quad (12)$$

Natureza do subleito	Fator de Correção Sazonal - F_s	
Arenoso e Permeável	1,10-1,30	1,00

Argiloso sensível a umidade	1,20-1,40	1,00
-----------------------------	-----------	------

Tabela 10 - Fator de Correção Sazonal Fs (DNER PRO011-79)

Um dos parâmetros de avaliação é a deflexão admissível D_{adm} , que está diretamente relacionada aos materiais constituintes das camadas inclusive de revestimento e ao número N de projeto. Esse parâmetro determina o valor máximo de deflexão para que não ocorra o surgimento de trincas no pavimento.

Segundo o procedimento, para pavimentos flexíveis com revestimento de concreto betuminoso, o cálculo da deflexão admissível é dado pela seguinte expressão:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N_s \quad (13)$$

Porém, segundo SANTANA (2012), os **pavimentos de baixo volume de tráfego** apresentam revestimento de tratamento superficial, portanto, não se aplicam a tal expressão. Para esse tipo de revestimento, o procedimento recomenda que **deveser adotado o dobro da deflexão admissível encontrada pela equação**, desta forma a equação utilizada deve ser a seguinte:

$$\log \left(\frac{D_{adm}}{2} \right) = 3,01 - 0,176 \log N_s \quad (14)$$

O numero N_s considerado para o cálculo, para fins de avaliação, é referente ao período de início de utilização do pavimento até a data dos ensaios.

Se o valor da deflexão de projeto (D_p) encontrada for inferior a deflexão admissível (D_{adm}) e o raio de curvatura R for menor ou igual a 100, significa que o trecho em questão ainda se encontra na fase elástica, ou seja, ainda apresenta um período de utilização até a fase de fadiga. Para a determinação desse período de utilização restante do pavimento, é necessário calcular, através da equação $\log \left(\frac{D_{adm}}{2} \right) = 3,01 - 0,176 \log N_s$ (14, o valor de N_t que representa o número de solicitações de eixo padrão obtido através da deflexão de projeto (D_p).

Assim, temos:

$$N_r = N_t - N_s \quad (15)$$

Onde N_r representa o número de solicitações de eixo padrão restante até o período final de utilização do pavimento. Conhecendo-se as características do tráfego da via, é possível estimar o tempo de vida restante do pavimento com base no número N_r .

A etapa apresentada a seguir trata da avaliação propriamente dita, pois são atribuídas classificações das condições estruturais dos trechos em estudo. Com base nos parâmetros calculados até agora, é possível qualificar uma estrada constituída de pavimento de baixo volume de tráfego utilizando os critérios de deflexão admissível, raio de curvatura, número N e índice de gravidade global determinados utilizando este procedimento. A Tabela 11- **Tabela de Avaliação (DNER PRO011-79)**, fornece a condição estrutural e ainda nos orienta na tomada de decisão quanto à necessidade de reparos e reforços.

Hipótese	Dados Deflectométricos obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	BOA	NÃO		Apenas Correções de Superfície
II	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	$D_p \leq 3$ REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		$D_p > 3$ MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	REGULAR PAR MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	$IGG > 180$	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução

Tabela 11- Tabela de Avaliação (DNER PRO011-79)

2.4.2.2.b Cone de Penetração Dinâmica DCP

Este procedimento é considerado, em geral, como um método não destrutivo, porém alguns autores o consideram como semi-destrutivo, pelo fato do cone perfurar as camadas do pavimento e, em alguns casos, ser necessária a abertura de pequenas janelas para a análise das

camadas abaixo do revestimento, aqui neste trabalho foi considerado para simplificação como um método destrutivo.

Segundo BERTI (2005), o DCP é utilizado, comumente para avaliar a resistência da base e do subleito de estradas não pavimentadas, no entanto pode ser utilizado em estradas que possuem revestimento, as quais representam grande parte das estradas de baixo volume de tráfego. Este procedimento fornece a resistência das camadas do pavimento com base no número de golpes necessários para que o equipamento (figura 21) penetre uma determinada distância no solo. O ensaio é extremamente simples de ser executado, apresenta baixo custo, facilidade de mobilização e não interfere no tráfego de veículos.

O equipamento é composto de uma haste de aço com diâmetro de 20 mm com um cone em sua ponta o qual penetra no material, quando submetido ao impacto de um martelo de 8 kg que é solto de uma altura de 575 mm (JORDÃO, 2009). São necessários dois operadores para a execução do ensaio, onde um segura o equipamento e aplica os golpes soltando o martelo enquanto o outro registra a medida de penetração e o número de golpes referente.

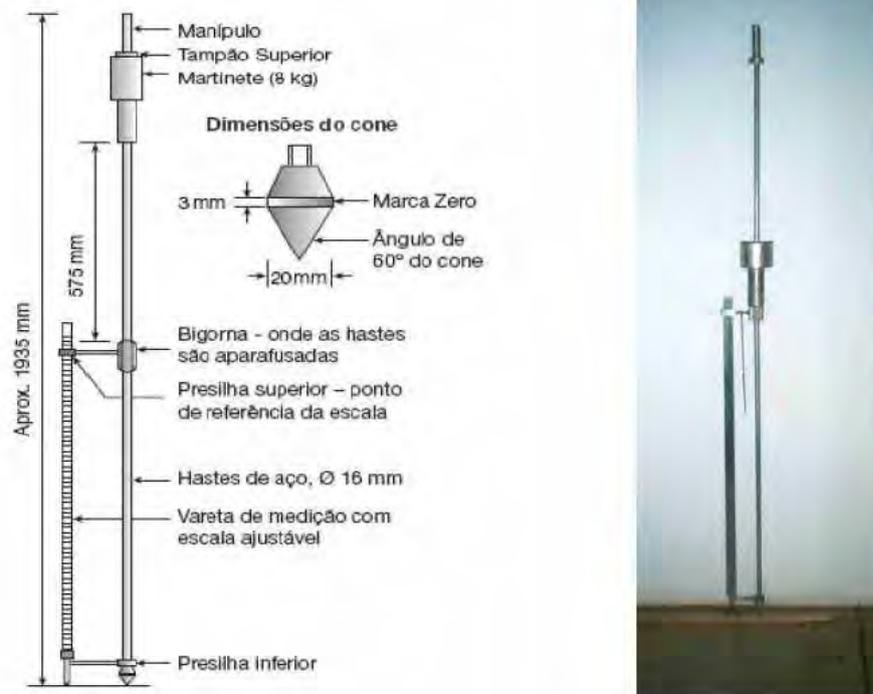


Figura 21 - Cone de Penetração Dinâmica DCP (JORDÃO, 2009)

A resistência do material é dada pela relação:

$$DCP = \frac{\textit{Profundidade}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ de golpes}} \quad (16)$$

Os valores são plotados em um gráfico Penetração versus Número de golpes, obtendo-se a curva DCP. Quanto menor a inclinação da curva, maior a resistência da camada.

Para a avaliação de um pavimento através dos resultados do DCP, é necessário utilizar correlações com o CBR (California Bearing Ratio), que representa a capacidade de suporte de cada camada, sendo que essas correlações são feitas para diferentes tipos de solo.

OLIVEIRA apresenta em seu trabalho de avaliação estrutural de uma RBVT a seguinte equação de correlação para solos transicionais da região do Vale do Paraíba – SP:

$$\log CBR = 2,490 - 1,057 \log DCP \quad (17)$$

Com coeficiente de correlação r^2 de 0,96 e tamanho da amostra n de 70.

Com esta correlação foi possível avaliar o pavimento através da comparação entre os valores de CBR encontrados e valores médios para aquele tipo de pavimento. Os valores de CBR encontrados naquele trabalho variaram de 21% a 52% indicando que a capacidade de suporte do pavimento estava abaixo dos valores recomendados para aquela categoria.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia para a comparação e recomendação, da escolha dos métodos de avaliação mais adequados a cada tipo de situação, será realizada com base nas normas atuais dos principais órgãos rodoviários, em pesquisas, teses e dissertações realizadas sobre o assunto.

Os critérios utilizados serão basicamente aspectos técnicos e econômicos. Os aspectos técnicos contemplarão a finalidade da avaliação, o tempo e corpo técnico disponível e as características da rodovia, tais como existência de revestimento, extensão, importância e

utilização. Os aspectos econômicos considerados são basicamente a verba disponível para a realização dos ensaios, compra de equipamentos e contratação de serviços.

4. COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS

Com base nas vantagens, desvantagens e limitações dos métodos apresentados para diferentes situações, será apresentado um comparativo, de modo a auxiliar na escolha do método ou dos métodos a serem utilizados. Evidentemente que os métodos que apresentam melhor precisão nos resultados são os que mais contribuem no processo de avaliação, fornecendo maior detalhamento das condições reais do pavimento. Entretanto, em muitos casos os recursos são limitados e o custo para utilização de um determinado método se torna inviável, pois como o objeto de estudo são os pavimentos de baixo volume de tráfego, os quais são estruturas mais econômicas, não é interessante ter custos elevados no processo de avaliação. Há também, alguns casos onde se deseja apenas obter um diagnóstico prévio e imediato das rodovias, inviabilizando algumas alternativas que exigem um maior tempo de realização.

É interessante também, além da comparação entre os métodos, a utilização de mais de um desses, de forma a obter o máximo de informações possíveis dando embasamento para uma avaliação mais detalhada, devido ao fato de alguns procedimentos avaliarem apenas as condições funcionais e outros as condições estruturais, sendo possível desta forma a obtenção de uma avaliação completa.

4.1 Parâmetros de comparação

4.1.1 Objetivo da avaliação

Em alguns casos, onde se deseja realizar reparos paliativos, de modo a atenuar as más condições funcionais e de segurança da rodovia, procura-se apenas obter informações

concernentes à superfície do pavimento. Por outro lado, há casos onde a situação superficial é péssima tornando desnecessária uma avaliação desta natureza, importando apenas saber a condição estrutural do pavimento.

4.1.2 Recursos Financeiros

Este é um dos fatores mais limitantes na escolha dos métodos de avaliação, pois caso não se disponha de muitos recursos financeiros a opção se restringirá aos métodos mais simplificados.

4.1.3 Tempo

Os métodos estruturais em geral são os que demandam maior tempo, devido à necessidade de calibração dos equipamentos e, no caso dos destrutivos, de ensaios em laboratório. Desta forma é necessário a utilização de métodos mais rápidos, tais como os de avaliação superficial.

4.1.4 Corpo técnico disponível

Tanto para execução como para análise dos resultados é necessário que haja pessoas tecnicamente capacitadas para um correto direcionamento dos estudos e uma correta interpretação dos resultados obtidos nos procedimentos.

4.1.5 Características e condições da rodovia

Características como a extensão da rodovia e o tipo de revestimento utilizado, também são importantes na determinação do método, pois alguns métodos como o DCP apresentam limitações em camadas de revestimento, sendo necessária a abertura de janelas no revestimento para a realização do ensaio.

Condições de umidade, proporcionado por chuvas, pode ocasionar distorção nos resultados limitando a utilização de alguns procedimentos em períodos chuvosos.

4.2 Considerações e Recomendações dos métodos apresentados.

4.2.1 Método DNIT006

Segundo Aps et al.(1998), tal método é sugerido quando há a necessidade de uma **avaliação imediata a nível de rede**, ou seja, para grandes extensões. Isso implica, portanto, nos parâmetros **tempo** e **objetivo** do levantamento. Este procedimento fornece um levantamento **detalhado** das condições superficiais, sendo muito útil na tomada de decisões de restaurações (Manual DNIT).

4.2.2 VIZIR

O método Vizir foi criado para auxiliar na **manutenção preventiva** dos pavimentos, a fim de identificar os defeitos antes da necessidade efetiva dos reparos. Como apresentado anteriormente, neste procedimento os defeitos são classificados em dois tipos, os que são de natureza estrutural e os que não são (PRESTES, 2001). Essas informações são muito úteis, pois caso sejam identificados problemas estruturais é interessante partir para uma análise estrutural. O método é extremamente **rápido** e simples de ser executado, **não sendo necessários conhecimentos técnicos específicos**.

4.2.3 DCP

Segundo Jordão, tal método apresenta as vantagens de ser de fácil manuseio e transporte, **tanto o ensaio quanto a análise podem ser feitos por pessoal com treinamento simples**, baixo custo em relação aos outros métodos destrutivos e, embora seja um método

destrutivo, não proporciona grandes danos ao pavimento. Para Berti, 2005, o DCP é um método de rápida execução, que leva aproximadamente 5 minutos por furo, exigindo, em geral, dois operadores para sua realização. É comumente utilizado em rodovias que não apresentam revestimento asfáltico, nos casos onde há é necessário retirá-lo até encontrar as camadas granulares. Apresenta algumas variações nos resultados devido a variações de umidade, por isso é recomendado realizá-lo em períodos de chuva de modo a considerar o solo com umidade máxima. O DCP apresenta limitações para solos com granulometria maior que 20 mm.

Resumidamente, o DCP apresenta aspectos positivos em relação a **tempo, recursos financeiros e corpo técnico disponível**, entretanto, tal método limita-se de acordo com as **características do pavimento**.

4.2.4 Retroanálise

A retroanálise é um procedimento bem interessante, pois permite a obtenção dos módulos de elasticidade das camadas nas condições de campo, minimiza os danos no pavimento e, conseqüentemente, proporciona menos transtornos ao tráfego de veículos. Necessita de ensaios para o levantamento das deflexões, que apresentam menor custo em relação aos métodos destrutivos.

4.2.4.1 Retroanálise utilizando a Viga Benkelman

Para Bernucci et al.(2008)a Viga Benkelman é um procedimento trabalhoso e de pouca precisão quando realizado com a viga convencional, no entanto há equipamentos eletrônicos que minimizam grandes equívocos nas medições. No caso da viga convencional, é exigida mobilização de equipe relativamente grande, pois são necessárias no mínimo quatro pessoas para a execução do ensaio, sendo recomendável que tenham alguma experiência, pelo fato do procedimento utilizar processos manuais que dependem da habilidade dos operadores (Ferreira).

Contudo, esse equipamento é de baixo custo e, também é o mais difundido para o levantamento de deflexões recuperáveis (DNIT, 2005).

4.2.4.2 Retroanálise utilizando o FWD

Bernucci et al.(2008) apresenta algumas vantagens da utilização do FWD que são:**precisão** nas medições, níveis de cargas variáveis, **rapidez** no ensaio, registro automático das deflexões e o fato do operador não influenciar nos resultados. Outro ponto interessante apresentado no manual do DNIT é de que, por realizar aplicação de carga dinâmica, o FWD simula as solicitações transientes que são mais próximas do que ocorre na realidade. Apesar da qualidade e precisão dos resultados, o FWD apresenta alto custo e dificuldade de calibração, devido ao fato de existirem poucas empresas que o fazem. Portanto, dependendo da necessidade e do objetivo da avaliação, este método não é descartado devido às vantagens apresentadas.

4.2.5 Método DNER PRO011-79

Este método permite o conhecimento mais detalhado das camadas do pavimento, seus materiais constituintes, espessuras, grau de compactação, teor de umidade e, através de ensaios em laboratório, é possível determinar as massas específicas, limites de Atterberg e os módulos de resiliência. Para tanto, é preciso tempo disponível para análise dos resultados e ainda de corpo técnico, tanto para os ensaios quanto para a interpretação dos resultados (BERNUCCI *et. al*, 2008).

Devido á dificuldade para extração de amostras e pelo caráter destrutivo, tal método é recomendado para trechos de pequenas extensões e quando não se dispõe de informações das características do pavimento.

4.3 Tabela de comparação

Para facilitar o entendimento da análise, foram agrupadas as principais características como vantagens e limitações dos métodos apresentados, de modo a se obter situações adequadas para cada um desses, possibilitando uma rápida comparação (tabela 12).

MÉTODO	VANTAGENS	LIMITAÇÕES	INDICAÇÃO DE UTILIZAÇÃO
DNIT006	Rápida execução. Baixo Custo. Simplicidade de execução e interpretação.	Resultados restritos às condições superficiais.	Necessidade de um diagnóstico rápido. Trechos extensos, nível de rede. Realização de reparos paliativos ao pavimento.
VIZIR	Rápida execução. Baixo Custo. Simplicidade de execução e interpretação. Permite identificar defeitos estruturais.	Sujeito à subjetividade na avaliação. Necessita de avaliador experiente.	Necessidade de um diagnóstico rápido. Realização de manutenção preventiva. Avaliação prévia.
DCP	Baixo Custo. Simplicidade de execução e interpretação. Permite identificar defeitos estruturais.	Gera transtornos ao tráfego. Não recomendado para revestimento asfáltico. Apresenta variações de acordo com a umidade das camadas granulares. Limitado a solos com granulometria até 20mm.	Identificação de problemas estruturais. Rodovias sem revestimento asfáltico. Trechos pequenos.
Retroanálise VB	Boa precisão. Não oferece danos ao pavimento. Minimiza transtornos ao tráfego. Fácil calibração.	Demora na realização do ensaio. Mobilização de equipe. Operador interfere nos resultados.	Avaliação estrutural do pavimento. Corpo técnico disponível para execução ou análise dos resultados. Tempo disponível para avaliação.
Retroanálise FWD	Mais preciso do que a VB. Não oferece danos ao pavimento. Minimiza transtornos ao tráfego.	Difícil calibração. Poucas empresas disponíveis. Alto custo.	Avaliação estrutural do pavimento. Corpo técnico disponível para execução ou análise dos resultados. Tempo disponível para avaliação. Verba disponível.
DNER PRO011-79	Levantamento completo das características do pavimento. Verifica umidade e grau de compactação.	Oferece danos à rodovia. Gera transtorno ao tráfego. Retirada da amostra pode modificar o estado de tensões das camadas granulares.	Avaliação estrutural do pavimento. Corpo técnico disponível para execução e análise. Tempo disponível. Comparação com resultados de outros métodos.

Tabela 12- Tabela de comparação dos métodos

5 CONCLUSÃO

É possível verificar que não há uma regra para a escolha do método de avaliação, pois se deve avaliar cada situação de acordo com os recursos disponíveis e limitações existentes. No entanto, para o caso das rodovias de baixo volume de tráfego, onde geralmente, não é interessante ter altos gastos, os métodos mais adequados seriam os métodos de baixo custo e dentre esses, os que dão mais informações sobre as condições reais do pavimento.

Para a avaliação superficial, ambos os métodos apresentados são de baixo custo, neste caso o método mais completo é o método Vizir, pois além de dar um diagnóstico das condições superficiais, possibilita a classificação dos defeitos em dois tipos, identificando a necessidade de se partir para uma avaliação mais específica de caráter estrutural.

Na avaliação estrutural, o cone de penetração dinâmica ou DCP é o que apresenta menor custo, porém apresenta diversas limitações que restringem a sua utilização. Desta forma, a Retroanálise com a viga Benkelman seria outra alternativa de baixo custo e com a vantagem de não proporcionar danos à rodovia, pois se trata de um método não-destrutivo. É a prática mais comum entre as que foram apresentadas, o que justifica a maior disponibilidade no mercado e a grande quantidade de pesquisas sobre este procedimento. Para melhores resultados no processo de retroanálise é interessante a calibração do equipamento e o uso de vigas eletrônicas que evitam erros de leitura ocasionados pelo operador.

Para uma análise qualitativa mais aprofundada dos métodos de avaliação superficial, seria interessante se comparar os resultados obtidos entre estes e os métodos de avaliação estrutural e verificar sua correlação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (1986) **AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures** – 1972. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.

APS, M et al. **Avaliação superficial de pavimentos asfálticos em Vias Urbanas utilizando o método PCI**. In: Reunião de Pavimentação Urbana, 31, 1998, São Paulo, 1998, p.1 a 17).

BERNUCCI, B Liedi et al. **Pavimentação Asfáltica : Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro, 2008, 46p.

BERTI, C. **Avaliação da Capacidade de Suporte de Solos “in situ” em Obras Viárias através do Cone de Penetração Dinâmica – Estudo Experimental**. 2005. 122 f. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

BRITO, L. A. T, DAWSON, A. R. **Métodos de dimensionamento para rodovias de baixo volume de tráfego**. Nottingham Transportation Engineering Centre NTEC, University of Nottingham, Nottingham, 2007, Disponível em: <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2007/255_RT.pdf> Acessível em: 10/11/2012.

Associação Brasileira de Empresas Distribuidoras de Asfalto – ABEDA. **Defeitos de Superfície de Pavimentos Asfálticos**,. Disponível em: <http://www.det.ufc.br/jsoares/super/11_Avaliacao_defeitos_e_objetiva.pdf> Acessível em: 20/11/2012.

DNER-Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – **Avaliação Estrutural de Pavimentos flexíveis “Procedimento A”** – DNER- PRO 010/79, 1979.

DNER-Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – **Avaliação Estrutural de Pavimentos flexíveis “Procedimento B”** – DNER- PRO 011/79, 1979.

DNER-Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – **Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto “Falling Weight Deflectometer (FWD)”** – DNER- PRO 273/96, 1996.

DNER-Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – **Determinação de deflexões pelo “Dynalect”** – DNER- ME 039/94, 1994.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia, Procedimento** – DNIT 006/2003. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia**, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2003, 12p.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – **Manual de restauração de pavimentos asfálticos, 2ª Ed**, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2005, 313p.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – **Pavimento Rígido, Avaliação Subjetiva, Procedimento** – DNIT 063/2004. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – **Pavimento Rígido, Avaliação Objetiva, Procedimento** – DNIT 062/2004. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – **Pavimento Rígido, Inspeção visual, Procedimento** – DNIT 060/2004. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – **Pavimento Rígido, Prova de carga estática para determinação do coeficiente de recalque de subleito e sub-base em projeto e avaliação de pavimentos, Métodos de ensaio** – DNIT 055/2004. Rio de Janeiro, 2004.

JORDÃO, H. P. **Contribuição ao projeto de pavimentos urbanos de baixo volume de tráfego, através da utilização do cone de penetração dinâmica**. 2009. 116 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

MERIGHI, J. V. **Estruturas de Pavimentos**, Curso: Estradas II, Universidade Mackenzie, 2004. Disponível em: <<http://ebookbrowse.com/estradas-2-aula-01-pdf-d63726294>> Acesso em: 08 de maio de 2012.

MÉTODOS DE LEVAMENTOS DE DEFEITOS SUPERFICIAIS DE PAVIMENTOS

Disponível

em

:

<<http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/EncontrosTecnicos/3encontroTecnico/MetodosdeLevantamentosdeDefeitos.pdf>> Acessível em : 20/11/2012.

PEDRAZZI, T. B. Proposta de uma Estratégia para Alocação de Recursos Financeiros em Atividades de Manutenção e Restauração de Pavimentos Flexíveis. Campinas: UNICAMP, 2004. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 218 paginas.

SANTANA, Walter Canales. **Soluções de pavimentos urbanos para baixo volume de tráfego e cidades pequenas.** In: Reunião de Pavimentação Urbana, 18, 2012, São Luís, ABP, 2012, p.2 a 8).

SILVA, A. F. Paulo. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos,** São Paulo, PINI, 2ª edição)