
**DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
DIVISÃO DE APOIO TECNOLÓGICO**

O SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS DO DNER

Eng° Tobias S. Visconti

Dezembro de 2.000

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Este documento tem como único objetivo reunir em um volume os métodos e os procedimentos utilizados pelo Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER desde a sua implantação, em 1982, quando foi criada a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos. O aprofundamento dos conceitos e dos modelos citados deve ser buscado em bibliografia específica, servindo esta publicação apenas como referência de como esses conceitos e modelos foram aplicados pelo DNER para definição das prioridades de investimentos na rede rodoviária federal pavimentada. Procurou-se também demonstrar que, somente após solucionado o problema da instabilidade de recursos para as obras de manutenção rodoviária, terão real aplicabilidade os estudos e modelos desenvolvidos para o Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER. Com relação a esse último aspecto, deve-se ressaltar que a opinião do autor não coincide, necessariamente, com as da Direção do IPR e do DNER.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	7
1 - SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS.....	9
1.1 - CONCEITOS E OBJETIVOS DE UM SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS.....	9
1.2 - NÍVEIS DE DECISÃO NA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	13
1.3 - A IMPLANTAÇÃO DO SGP-DNER.....	14
1.4 - ATIVIDADES BÁSICAS DE UM SGP.....	19
2 – O BANCO DE DADOS PARA O SGP-DNER.....	21
2.1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.....	22
2.2 - O SISTEMA DE REFERÊNCIA DO SGP-DNER.....	22
2.3 - O LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO – LVC.....	24
2.4 - DEFINIÇÃO DOS SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS A PARTIR DO LVC.....	25
2.4.1 – Estrutura.....	27
2.4.2 – Condição de superfície.....	27
2.4.3 – Tráfego.....	29
2.4.4 – Codificação dos subtrechos homogêneos.....	29
2.5 - A ESCOLHA DAS AMOSTRAS NO SGP-DNER.....	30
2.6 - AS INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS AO SGP-DNER.....	30
2.6.1 – Dados de inventário.....	32
2.6.2 – Dados para avaliação das condições de superfície do pavimento.....	34
2.6.3 – Dados para a avaliação estrutural dos pavimentos....	36
2.6.4 – Dados para a avaliação funcional dos pavimentos....	37
2.6.5 – Consolidação das informações.....	40
2.7 - AS UNIDADES DE AMOSTRAGEM – UAs.....	40
2.7.1 - Seleção de amostras – permanece o problema.....	41
2.8 - FREQUÊNCIA DOS LEVANTAMENTOS.....	43
3 - O MODELO PARA AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DAS PRIORIDADES.....	45
3.1 - CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES.....	46
3.2 - O ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA.....	47
3.3 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA COM O MODELO HDM-III.....	51
3.3.1 – A operação do modelo HDM-III.....	53
3.3.2 – O HDM-MANAGER.....	55
3.4 - UTILIZAÇÃO DO HDM-III PARA A REDE FEDERAL PAVIMENTADA.....	56
3.4.1 – A matriz de células.....	56

3.4.2 – Definição das estratégias de manutenção.....	57
3.4.3 – As estratégias da etapa 1995/1996 do SGP-DNER...	62
3.4.4 – Principais resultados.....	66
3.4.5 – O modelo EBM.....	68
3.5 – SURGE O HDM-IV.....	69
4 – A PROGRAMAÇÃO DOS INVESTIMENTOS.....	72
4.1 - PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA ELABORAÇÃO DO PROGRAMA PLURIANUAL DE INVESTIMENTOS.....	73
4.2 - O FINANCIAMENTO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA E A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS NO DNER.....	75
5 – BIBLIOGRAFIA.....	78
6 – ANEXOS	
ANEXO 1 – INSTRUÇÕES PARA DIVISÃO DOS TRECHOS UNITÁRIOS DO PNV EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS	
ANEXO 2 – NORMA DNER-ES 128/83	
ANEXO 3 – INSTRUÇÕES PARA CARACTERIZAÇÃO DE SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS DE RODOVIAS DO PNV	
ANEXO 4 – INSTRUÇÕES PARA O LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO	

INTRODUÇÃO

A implantação e o desenvolvimento do Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER devem constituir um processo contínuo e integrado de ações que alcancem todos os setores técnicos do Órgão, sempre com o objetivo de se obter a melhor aplicação possível para os escassos recursos públicos. Neste documento, procurou-se resumir os métodos e procedimentos adotados até o presente ao longo desse processo.

O surgimento de novas metodologias e modelos, que certamente trarão inovações também ao Sistema Gerencial do DNER, não torna menos importante que se conheçam as etapas de um trabalho que hoje constitui poderosa ferramenta de planejamento rodoviário e no qual diversos órgãos rodoviários estaduais colheram subsídios para implantar seus próprios Sistemas Gerenciais.

O primeiro capítulo deste documento apresenta os conceitos básicos de um sistema gerencial de pavimentos e discorre sobre a importância de sua implantação. Um breve histórico do desenvolvimento do Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER (SGP-DNER) também é apresentado.

No capítulo seguinte são relacionadas as informações necessárias ao SGP-DNER, bem como apresentados os métodos para seleção de amostras representativas da rede rodoviária e para a coleta das informações. Já o capítulo 3 descreve os modelos utilizados pelo SGP-DNER que, processando as informações coletadas, permitem definir as prioridades de investimentos em manutenção rodoviária.

No capítulo 4 são apresentadas as razões, na opinião do autor, da relação pouco expressiva entre as recomendações do Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER e as obras realizadas pelo Órgão: ausência de um processo sistematizado para elaborar o programa plurianual de investimentos e instabilidade no fluxo de recursos para a manutenção rodoviária. No mesmo capítulo é feita a defesa da instituição de um fundo para manutenção rodoviária, com recursos vinculados e oriundos do imposto sobre a venda de combustíveis, a exemplo do que se adota em diversos países.

Finalmente, nos anexos encontram-se os procedimentos e as normas elaborados especificamente para o Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER.

1. SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS

1 - SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS

1.1 - CONCEITOS E OBJETIVOS DE UM SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS

Um *sistema* pode ser definido como um conjunto de componentes que interagem mutuamente, afetado por fatores externos. O próprio pavimento, por exemplo, constitui um sistema cujos componentes (revestimento, base, sub-base e subleito) são submetidos a fatores externos, como o tráfego, as operações de manutenção e as condições climáticas (figura 1.1-1).

Já um *sistema gerencial de pavimentos* tem como componentes que devem interagir mutuamente o planejamento, o projeto, a construção e a manutenção dos pavimentos. Como principais fatores externos condicionantes de um sistema gerencial de pavimentos podem ser citados os recursos orçamentários, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas. A figura 1.1-2 ilustra adequadamente como se estrutura um Sistema Gerencial de Pavimentos.

Muito mais importante do que conceituar seria conscientizar todos os níveis de decisão de um órgão rodoviário dos benefícios que a implantação de um sistema gerencial de pavimentos traz para a sociedade.

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

Estudos demonstram que um pavimento, quando restaurado no momento adequado, poderá exigir apenas uma camada delgada de recapeamento, sobreposta à estrutura atual, com um custo relativamente baixo. Entretanto, se restaurado quando atingir a condição mau/péssimo, o pavimento excessivamente deteriorado exigirá serviços cujos custos atingirão valores três vezes superiores.

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

O SISTEMA PAVIMENTO

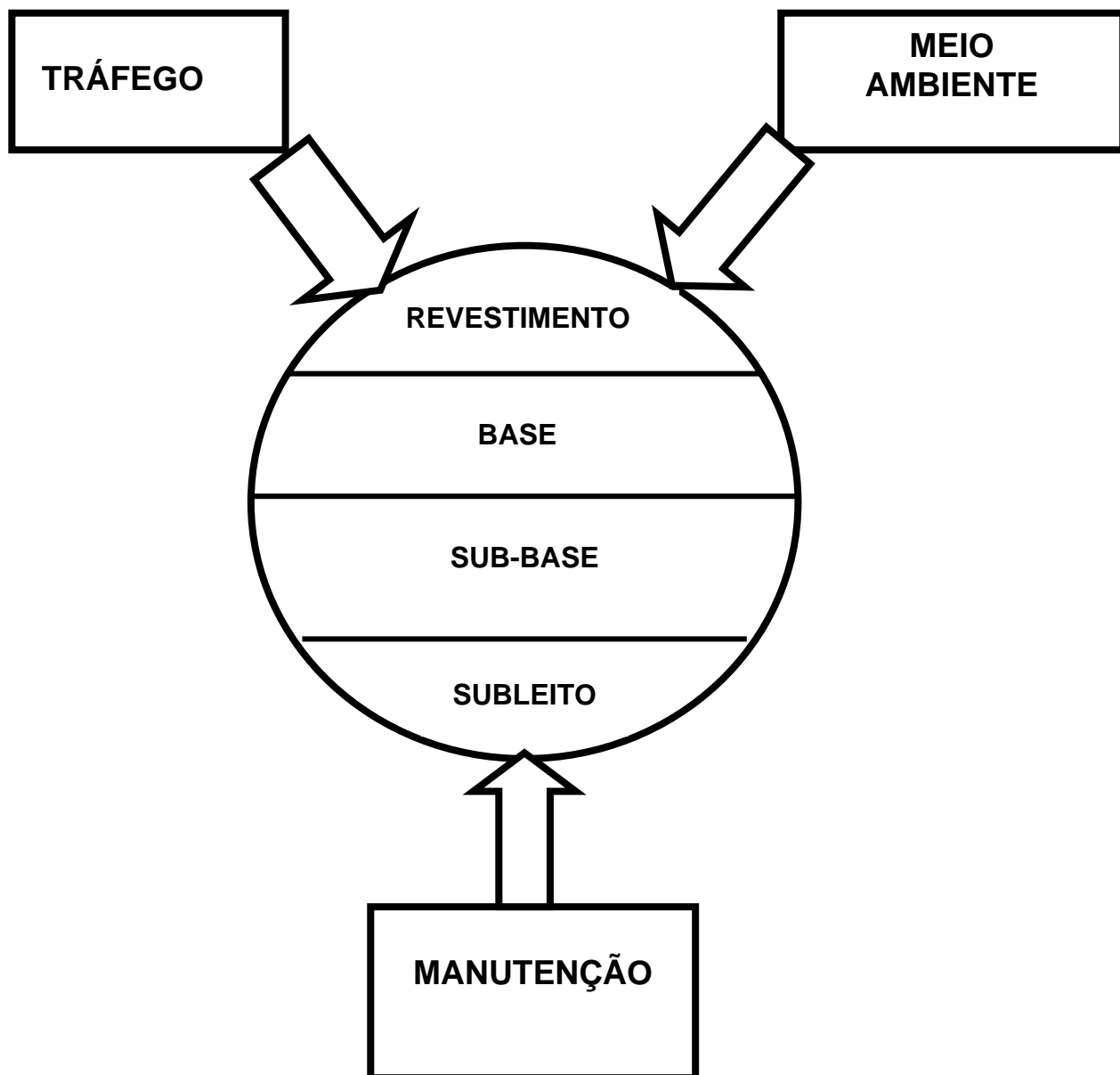


FIGURA 1.1-1

O SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS

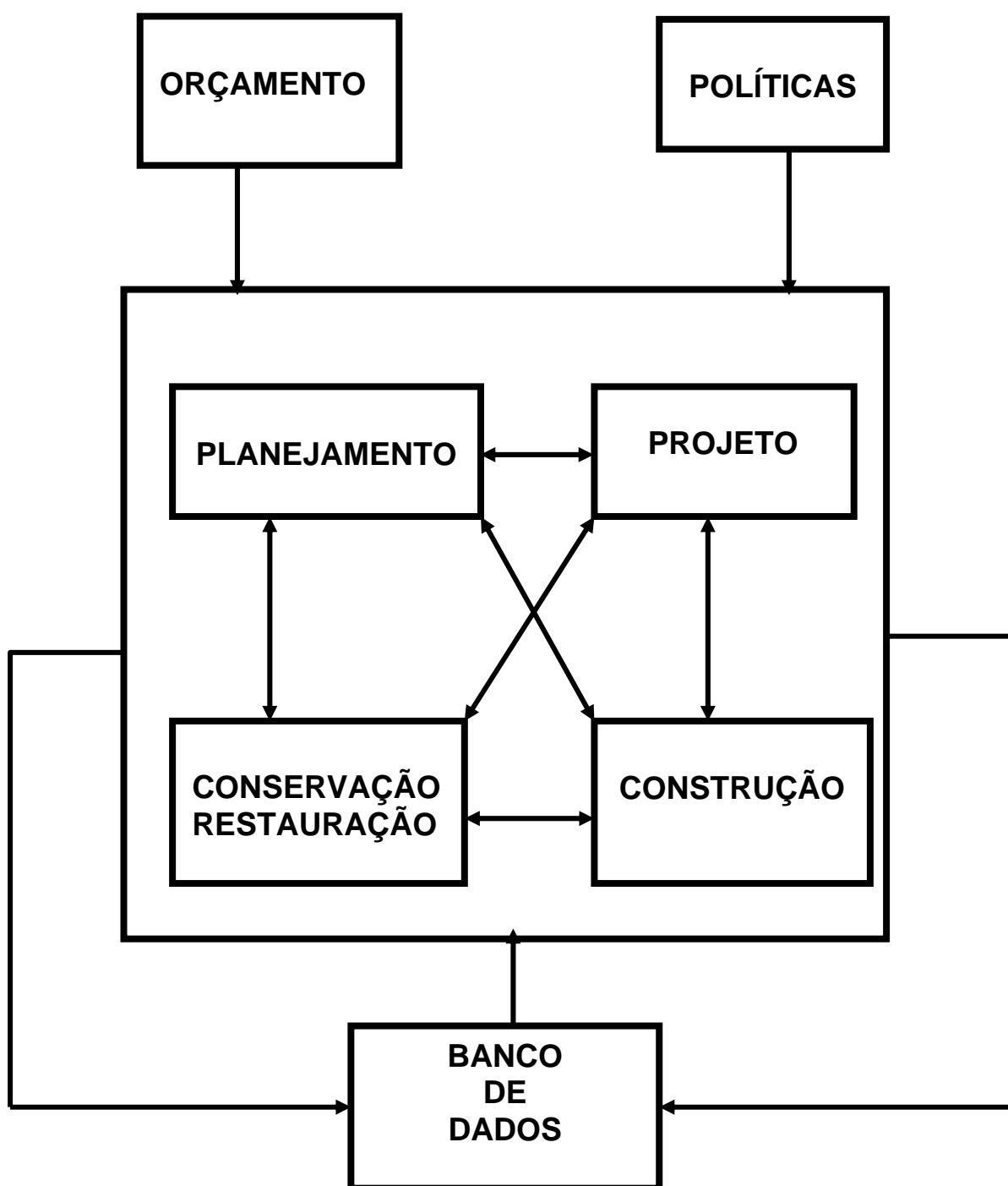


FIGURA 1.1-2

que inclui o planejamento, a programação dos investimentos, o projeto, as obras de manutenção e a avaliação periódica dos pavimentos.

A adoção de um sistema gerencial de pavimentos por um órgão rodoviário trará benefícios, em primeiro lugar, aos usuários das rodovias e à população de uma forma geral, pois os recursos públicos serão aplicados nas obras rodoviárias com maior eficiência. Também a administração do órgão, em seus diversos níveis, será beneficiada com a utilização do sistema de gerência, através da maior possibilidade de se adotar decisões corretas, da maior coordenação entre os diversos setores do órgão e do favorecimento das atividades de treinamento e aperfeiçoamento de pessoal.

Embora teoricamente um sistema gerencial de pavimentos deva incluir dentre os seus objetivos o estabelecimento de prioridades para a construção de novas ligações pavimentadas, a escassez de recursos e a predominância de critérios político-administrativos para inclusão desse tipo de obra no programa de investimentos têm limitado a abrangência do Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER (SGP-DNER), até o momento, ao programa de manutenção rodoviária.

1.2 - NÍVEIS DE DECISÃO NA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Tradicionalmente, o processo decisório de um sistema gerencial de pavimentos pode ser considerado a nível de rede e a nível de projeto. A gerência a nível de rede indica os trechos prioritários da malha rodoviária que devem ser objeto de investimentos em manutenção, de forma que os recursos públicos alocados para um determinado período tenham o melhor retorno econômico. Neste nível de gerência já são indicados, para cada trecho da malha, a alternativa de manutenção ideal, bem como a época em que se deve proceder o investimento. No entanto, tais indicações não apresentam detalhes de projeto, uma vez que se baseiam em dados coletados em amostras que representam a totalidade da rede. O conjunto das recomendações tem como principal objetivo permitir a elaboração de um programa plurianual de investimentos, no qual estejam contemplados os projetos e as obras que serão realizadas a médio prazo.

Já a gerência a nível de projeto envolve atividades detalhadas do próprio projeto e da execução de obras em um trecho específico da malha, atividades essas que deverão confirmar e detalhar as recomendações da gerência a nível de rede e que normalmente deverão subsidiar orçamentos e programas de curto prazo. É lógico que a gerência de pavimentos requer a perfeita integração entre esses níveis de decisão, o que nem sempre é fácil de se alcançar.

Mais recentemente, a gerência a nível de rede vem sendo apresentada subdividida em dois níveis: o nível de seleção de projetos e o nível de programação. O primeiro refere-se aos procedimentos de priorização envolvendo um ou mais grupos de projetos. Já o nível de programação envolveria toda a rede rodoviária, considerada a totalidade dos recursos orçamentários disponíveis. A figura 1.2-1 da página seguinte ilustra bem os três níveis de decisão de um sistema gerencial de pavimentos. Logicamente, a medida que a complexidade e o tamanho da rede a ser analisada aumentam, o nível de detalhamento das informações forçosamente diminui, e vice-versa. Não deve haver, contudo, uma linha divisória entre os níveis de decisão, procurando-se, isto sim, uma integração tanto nos aspectos técnicos como nos administrativos.

No DNER, busca-se no momento uma maior integração entre as gerências a nível de rede e de projeto, não sendo ainda oportuno considerar e delimitar um terceiro nível de decisão.

1.3 - A IMPLANTAÇÃO DO SGP-DNER

A partir de 1980, ocorreu um crescente interesse no desenvolvimento e aplicação de sistemas gerenciais de pavimentos por parte de diversos órgãos rodoviários, face a inúmeros fatores, dentre os quais se destacam:

- maior evidência da necessidade de manutenção oportuna e adequada da rede rodoviária, em virtude do envelhecimento dos pavimentos;
- as exigências dos órgãos financiadores, mais especificamente do BIRD, que passaram a estimular o emprego de técnicas racionais visando melhores resultados na aplicação dos programas utilizando os empréstimos financeiros;
- a exigüidade dos recursos a serem aplicados no setor rodoviário, face às crescentes necessidades motivadas pela deterioração progressiva da rede;
- o reconhecimento do efeito direto da condição do pavimento nos custos operacionais dos veículos, principalmente no consumo de pneus e combustíveis e nos custos de manutenção;
- a utilização em nosso País de avançada tecnologia, envolvendo métodos e equipamentos para avaliação de pavimentos, inclusive o emprego de processos computacionais.

NÍVEIS DE DECISÃO NA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

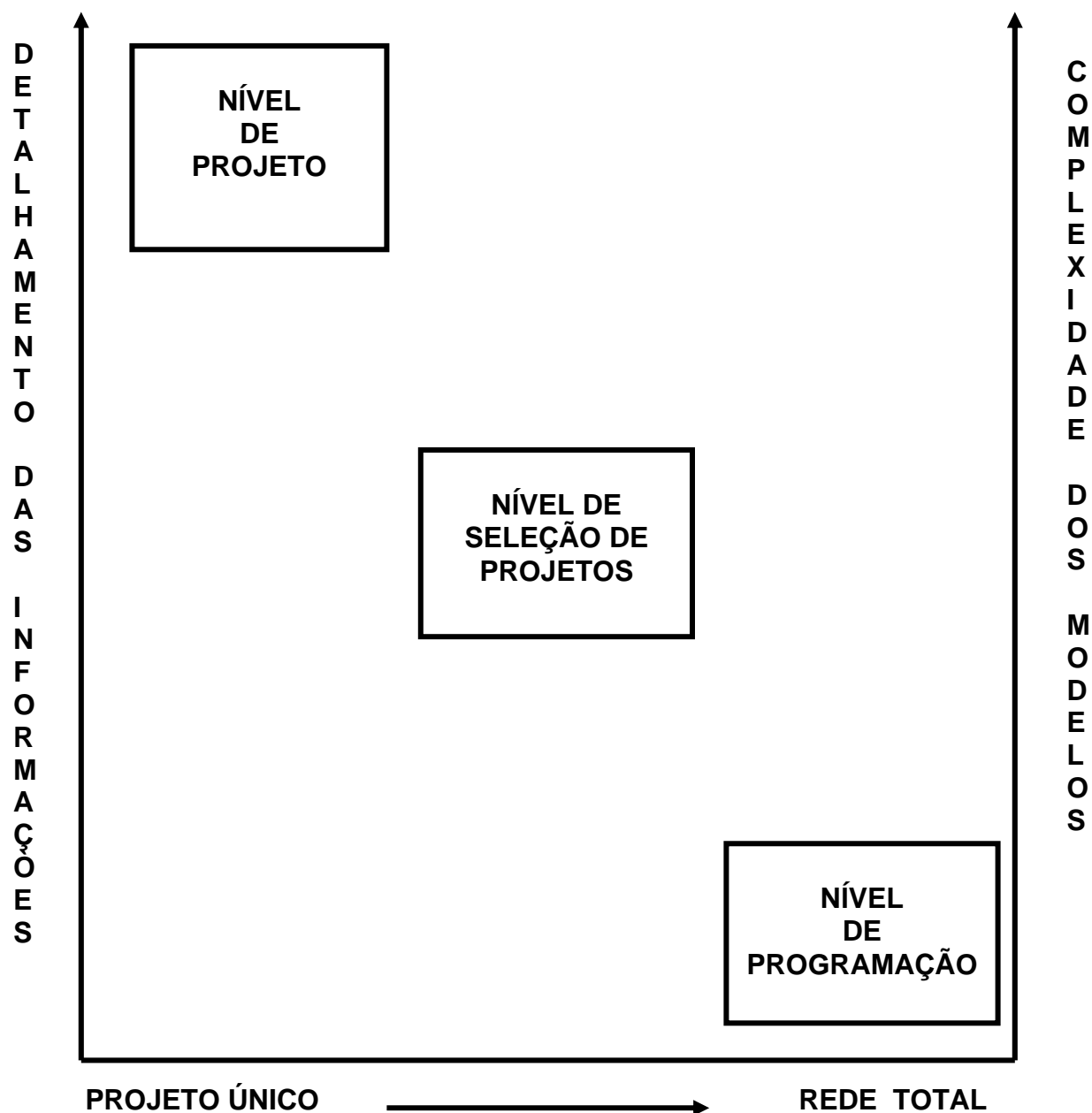


FIGURA 1.2-1

Com relação a este último item, destacaram-se a formulação de novas equações de custos operacionais de veículos e de modelos de previsão do desempenho dos pavimentos, desenvolvidos principalmente na Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários - PICR, conduzida pelo GEIPOT entre 1975 e 1984, através de convênio entre o Governo do Brasil e Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento. (P.N.U.D.), e que contou com a participação de técnicos do IPR/DNER e de nove países interessados. Os resultados da PICR encontram-se incorporados ao HDM-III, modelo de avaliação econômica utilizado pelo Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER.

No DNER, estudos e trabalhos relacionados ao modelo HDM e à gerência de pavimentos já vinham sendo desenvolvidos desde 1970 pelo Grupo do HDM (GHDM), formado na antiga Divisão de Planos e Programas do Órgão. Esse Grupo foi pioneiro no Brasil, ao utilizar o modelo nas suas versões iniciais (HDM-I e HDM-II) para a análise de projetos isolados e para a definição das prioridades de investimentos na rede federal pavimentada.

No entanto, a implantação do Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER só se daria a partir de 1982, quando a Direção do Órgão, por iniciativa do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, decidiu formalizar a criação da Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos - CPGP, presidida pelo IPR e contando com representantes dos demais setores técnicos do Departamento.

Assim que iniciou suas atividades, a CPGP teve como mais importante tarefa o desenvolvimento de metodologia e de instruções para o levantamento de condição de superfície dos pavimentos flexíveis para gerência de pavimento a nível de rede. O trabalho, concluído em 1983, constituiu a Norma Rodoviária DNER - ES 128/83 (Anexo 2 deste Volume), aprovada pelo Conselho de Administração em 18/03/83. Os critérios então estabelecidos para identificação dos subtrechos homogêneos e dos segmentos-testemunha tiveram a aprovação de técnicos do Banco Mundial. Em 1986, a CPGP complementaria essa Norma, elaborando as *"Instruções Para Caracterização de Subtrechos Homogêneos de Rodovias do PNV"* (Anexo 3) que, além dos dados referentes à condição do pavimento, permitiram caracterizar o subtrecho homogêneo com informações referentes à avaliação funcional e estrutural dos pavimentos. Essas *Instruções* passaram a ser utilizadas em conjunto com a Norma DNER-ES 128/83.

Nesse período inicial da CPGP, a Direção Superior do DNER já necessitava da definição das prioridades de obras de restauração através

de critérios técnicos de forma a obter financiamentos do Banco Mundial. Para atender essa demanda, a Comissão desenvolveu um Índice de Suficiência que, se ainda não levava em conta fatores de ordem econômica, já ponderava informações que refletiam as condições de conservação e de utilização da rodovia. O Banco Mundial à época aceitou incluir em seus programas de financiamento trechos priorizados pelo Índice de Suficiência, embora recomendasse o desenvolvimento de modelos que considerassem também a avaliação econômica dos trechos selecionados.

Posteriormente, no período 1985/1986, foram estabelecidos a metodologia e os procedimentos para utilização dos resultados dos levantamentos de campo no modelo HDM-III, selecionado para avaliar economicamente as alternativas de manutenção para todos os trechos da rede federal pavimentada. Desde então, o modelo HDM-III tem sido empregado no Sistema Gerencial de Pavimentos para avaliação da rede federal e para a definição das prioridades de restauração. Foram também à época elaborados programas para recebimento das informações e montagem de um banco de dados. Para complementação das informações coletadas, passaram a compor as instruções de levantamento de campo as Normas DNER-ME 24/78 e DNER-PRO 07/78 que disciplinam a determinação das deflexões com Viga Benkelman e a avaliação subjetiva dos pavimentos, respectivamente.

A designação de coordenadores da CPGP em todos os Distritos Rodoviários Federais do DNER (unidades regionais) foi acompanhada do desenvolvimento de um amplo programa de treinamento, voltado para os coordenadores distritais e para os técnicos que atuavam nas residências, objetivando difundir e homogeneizar os conceitos e critérios estabelecidos na Norma DNER-ES 128/83.

Em 1987, a aplicação rotineira das técnicas de gerenciamento dos pavimentos recomendou a transferência da presidência da CPGP para a Divisão de Planos e Programas da Diretoria de Planejamento do DNER. A partir de então, foram consolidados os métodos estabelecidos, através da criação de relatórios gerenciais para divulgação dos resultados.

No período 1984/1989 foram realizadas quatro etapas de levantamentos de campo, com o objetivo de caracterizar as condições de todos os subtrechos homogêneos da rede federal pavimentada. Os levantamentos foram integralmente executados por técnicos das residências, sob a coordenação dos DRFs e supervisão geral da Administração Central do DNER. O DNER, nesse mesmo período, divulgou os procedimentos estabelecidos para levantamento das condições de pavimento flexível para gerência a nível de rede, bem como a metodologia para avaliação econômica das alternativas

de manutenção, em Congressos, seminários, cursos, etc., no Brasil e no exterior, influenciando na sua adoção por outras organizações.

Em 1990, as atividades do SGP-DNER foram temporariamente interrompidas, em função da transferência da Administração Central do DNER para Brasília e da paralisação dos contratos de projetos e obras de restauração. A retomada das atividades, em 1991, caracterizou-se por significativas modificações na metodologia até então utilizada. Tais modificações tiveram como causas básicas:

- A redução da capacidade de execução do DNER, trazendo como consequência a necessidade de contratação de diversas etapas do processo;
- A avaliação do SGP-DNER empreendida pela missão do BIRD à época, que sugeriu alterações de cunho metodológico.

Resumidamente, as sugestões do Banco Mundial referiram-se a:

- necessidade de realização de um levantamento visual contínuo para a condição dos pavimentos;
- necessidade de incorporação de novos parâmetros (estrutura e idade dos pavimentos) para definição dos subtrechos homogêneos;
- em complementação à avaliação econômica com o HDM-III, necessidade de utilização de modelo para avaliar as estratégias de manutenção rodoviária em condição de restrição orçamentária (modelo EBM).

Desta forma, nas etapas desenvolvidas em 1992 e em 1996, os levantamentos de campo para o SGP-DNER foram realizados com a participação de firmas de consultoria, à exceção do *levantamento visual contínuo*, executado diretamente pelos DRFs. Os levantamentos, além de incorporarem as alterações recomendadas pelo Banco Mundial, apresentaram como inovação o conceito de *unidade de amostragem* (UA), que simplificava os procedimentos preconizados pela Norma DNER-ES 128 com o objetivo de reduzir os custos dos levantamentos. Para processar os dados e avaliar economicamente as alternativas de manutenção para os trechos da malha rodoviária foram utilizados, em ambas as ocasiões, os modelos HDM-III (versão HDM-MAN) e EBM.

Em 1997, a Divisão de Apoio Tecnológico do IPR concluiu estudos demonstrando que os levantamentos das condições dos pavimentos realizados em *unidades de amostragem* não apresentam vantagens para a

análise a nível de rede com o modelo HDM-III, podendo-se obter os dados referentes a defeitos diretamente do levantamento visual contínuo. Com este procedimento, adotado nos levantamentos iniciados em 1999, o SGP - DNER poupará recursos que poderão ser empregados na coleta de dados para os quais o modelo apresenta maior sensibilidade (volume de tráfego, quociente de irregularidade e deflexão). Os resultados desses levantamentos certamente constituirão os dados de entrada para nova avaliação econômica da rede federal pavimentada, agora já com a utilização do modelo HDM-IV.

1.4 - ATIVIDADES BÁSICAS DE UM SGP

A seqüência lógica das atividades que envolvem a estruturação geral de um sistema gerencial de pavimentos pode ser representada como no esquema a seguir:

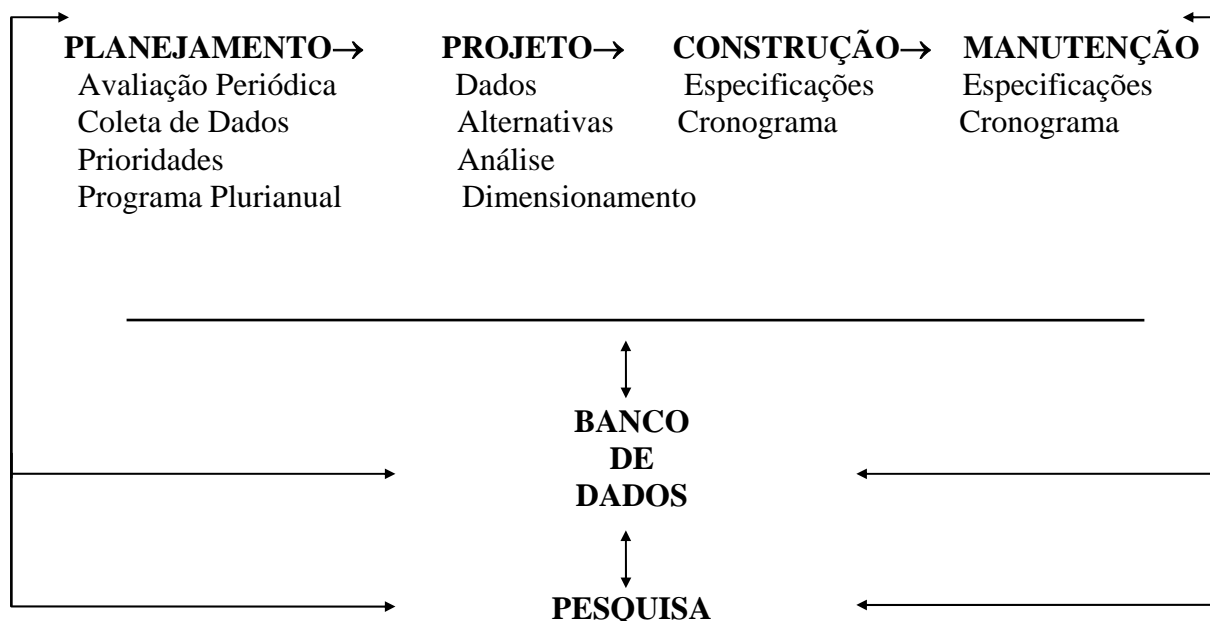


FIGURA 1.4.1

Assim, um sistema de gerência de pavimentos compreende uma ampla gama de atividades, incluindo o planejamento, a programação de investimentos, o projeto, a construção, a manutenção e a avaliação e o controle periódico de todas as fases do processo e da própria rede pavimentada.

Pode-se no entanto observar, na mesma figura, que as atividades específicas de um sistema gerencial de pavimentos a nível de rede estão

normalmente afetas à área de planejamento e podem ser agrupadas em três grandes atividades básicas, quais sejam:

- ***Avaliação periódica dos pavimentos (ou coleta de dados);***
- ***Uso de metodologia para determinação das prioridades;***
- ***Elaboração de programa plurianual de investimentos.***

A avaliação periódica dos pavimentos consiste na obtenção de todos os dados e informações necessárias para que seja alcançado o objetivo do sistema gerencial de pavimentos. Sem dúvida, é a etapa mais difícil e mais importante de um sistema gerencial. De nada adiantará um modelo sofisticado para definição das prioridades de investimentos se os dados de entrada para o modelo não forem confiáveis.

Na segunda atividade, são utilizados métodos ou critérios técnicos que trabalham os dados coletados e definem as prioridades de investimentos, estabelecendo a época e a estratégia de manutenção mais oportuna.

A atividade final consiste na preparação de programa de investimentos de médio prazo (3 a 5 anos), no qual as recomendações técnicas da atividade anterior serão adequadas às diretrizes políticas e administrativas do órgão rodoviário. Esta atividade tem como característica ser quase sempre específica de cada organização rodoviária, sendo difícil estabelecer procedimentos que sejam comuns às diversas organizações.

Os próximos três capítulos deste documento versarão exatamente sobre cada uma das três atividades básicas anteriormente referidas, procurando-se descrever o seu desenvolvimento e o estágio atual em que se encontram no Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER.

2 – O BANCO DE DADOS PARA O SGP-DNER

2.1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

A coleta de informações sobre os pavimentos rodoviários constitui tarefa de fundamental importância para um Sistema Gerencial de Pavimentos. O grau de detalhes e a frequência das coletas e medições necessárias dependem do nível de gerência, do modelo para definição das prioridades a ser adotado e das exigências de cada organização rodoviária. No entanto, algumas características básicas se aplicam a todas as situações:

- Os dados devem ser pertinentes, ou seja, não devem ser coletadas informações desnecessárias ou que de alguma forma não tenham influência no processo decisório.
- O sistema de coleta de dados deve ser confiável, devendo, portanto, ser cuidadosamente planejado e antecedido por eficiente treinamento de todo o pessoal envolvido no processo. Os dados devem ainda ser submetidos a análise crítica.
- As informações devem ser de fácil acesso e periodicamente atualizadas, através da estruturação de um banco de dados e de um eficiente sistema de referência.
- O custo dos levantamentos deve ser o menor possível, considerado o modelo de sistema gerencial que se pretende implementar.

2.2 - O SISTEMA DE REFERÊNCIA DO SGP - DNER

Os dados de um sistema gerencial de pavimentos devem ser fisicamente localizados em relação à rede rodoviária. Assim, como primeira providência para planejar a coleta de informações do SGP - DNER, procurou-se estabelecer um eficiente sistema de referência para as informações.

O DNER já possuía, desde a década de 70, um sistema para divisão e codificação dos trechos da Rede Rodoviária Federal, de forma a padronizar a referência das informações das diversas atividades do Órgão. Esse sistema de trechos rodoviários, atualizado e publicado anualmente sob o título “Rede Rodoviária do PNV - Divisão em Trechos”, tem como critério

básico a divisão de cada rodovia da rede federal em trechos cujos pontos extremos exerçam uma ação modificadora no volume de tráfego. A situação física da rodovia é também considerada para interrupção do trecho, de forma que cada trecho tenha apenas uma situação (pavimentado ou implantado ou duplicado, etc.). Os trechos assim obtidos, sempre com extensão máxima de 99,9 km, recebem um código de identificação composto por 10 (dez) dígitos, como exemplificado a seguir:

135	B	MA	0010
nº da BR	Indica	Unidade	nº do trecho (crescente no sentido do PNV- não
	trecho	da	volta a zero nas divisas estaduais)
	federal	Federação	

Esse sistema de referência é também adotado pela maioria dos órgãos estaduais, já que o DNER incentivou-os a padronizar a divisão em trechos em seus Sistemas Rodoviários Estaduais. No código, o dígito “B” é substituído por “E”, indicando trecho estadual.

No entanto, o sistema de referência assim constituído não era ainda adequado para refletir as condições dos pavimentos, uma vez que os trechos obtidos, embora homogêneos em relação ao volume de tráfego e à situação física, não eram homogêneos quanto à condição e ao estado de conservação dos pavimentos. Desta forma, estaria comprometida sua avaliação em modelos de previsão de desempenho, por exemplo. Amostras selecionadas aleatoriamente nesses trechos, para efeito de coleta de dados relacionados à condição dos pavimentos, não necessariamente seriam representativas de todo o trecho. Por outro lado, era fundamental o aproveitamento desse sistema de referência de forma a correlacionar os dados do inventário da gerência de pavimentos com outros bancos de dados já existentes no DNER.

Foram então estabelecidos critérios para a subdivisão dos trechos do PNV em subtrechos homogêneos, que passariam a ter as seguintes características adicionais:

- homogêneo quanto às condições de superfície;
- homogêneo quanto ao tipo de revestimento;
- homogêneo quanto à geometria;
- limites nos contratos de restauração;
- extensão máxima – 20 km;
- extensão mínima – 300 m;
- limites nos pontos do PNV;

-
- no máximo 9 subtrechos homogêneos por trecho do PNV.

Estariam desta forma atendidas as exigências de homogeneidade dos subtrechos, necessárias ao SGP, e estaria também preservada a referência das informações aos trechos e códigos do PNV, já que estes seriam sempre múltiplos dos subtrechos homogêneos.

Como código de cada subtrecho homogêneo foi adotado o mesmo do trecho do PNV ao qual o subtrecho pertence, acrescido de dígitos para sua identificação, como segue:

135	BMA	0010	4	2	E	R03
		nº do trecho	nº do subtrecho	pista dupla	lado esquerdo	nº da residência

OBS: No caso de pista simples, a posição que indica o lado é deixada em branco.

A subdivisão dos trechos do PNV em subtrechos homogêneos, no período 1984-1990, foi sempre tarefa realizada pelo engenheiro residente do DNER que, percorrendo os trechos sob sua jurisdição, subdividia-os visualmente em segmentos homogêneos de acordo com os critérios já mencionados. Para tanto, eram utilizadas as fichas e as instruções que constituem o Anexo 1 deste Volume.

A partir de 1992, por recomendação do Banco Mundial, a subdivisão dos trechos do PNV em subtrechos homogêneos passou a ser antecedida por um levantamento visual contínuo (LVC) de toda a rede rodoviária.

2.3 - O LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO - LVC

O levantamento visual contínuo - LVC tem por objetivo coletar informações necessárias para dividir os trechos unitários do PNV em subtrechos homogêneos. O levantamento é expedito e se caracteriza por um exame visual contínuo dos pavimentos em toda a extensão dos trechos do PNV, para avaliação da frequência dos defeitos encontrados e do estado de conservação da superfície de rolamento, além de informar também o tipo de revestimento, a espessura e a idade dos pavimentos. Basicamente o levantamento das informações é registrado ao fim de cada quilômetro percorrido no trecho do PNV, sendo os dados anotados em ficha própria. Cada quilômetro receberá, para cada tipo de defeito considerado no LVC, uma frequência que corresponderá à porcentagem da extensão do segmento atingida pelo defeito. Esta porcentagem deve ser estimada e classificada de acordo com a tabela a seguir:

<u>Frequência</u>	<u>Conceito</u>	<u>Porcentagem</u>
S	Sem Defeito	-
B	Baixa	< 10%
M	Média	10% a 50%
A	Alta	> 50%

Apenas para as “painéis”, as frequências serão estabelecidas pela quantidade de painéis encontradas por quilômetro, conforme a tabela:

<u>Frequência</u>	<u>Conceito</u>	<u>Quant./km</u>
S	Sem Defeito	-
B	Baixa	≤ 2
M	Média	2 < PA ≤ 5
A	Alta	> 5

A espessura e a idade dos pavimentos foram considerados parâmetros importantes para definição dos subtrechos homogêneos, razão pela qual passaram a integrar a ficha do LVC. Durante a realização do LVC, procede-se também à avaliação subjetiva do pavimento, estimando-se o Valor de Serventia Atual (VSA) para cada quilômetro, de acordo com o especificado na Norma DNER-PRO 007/94.

Na página seguinte é apresentada a ficha para realização do LVC, sendo as instruções detalhadas para seu preenchimento encontradas no Anexo 4 deste Volume.

2.4 - DEFINIÇÃO DOS SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS A PARTIR DO LVC

Como já foi dito, o Banco Mundial recomendou que a definição dos subtrechos homogêneos para o SGP do DNER fosse antecedida por um levantamento visual contínuo e incorporasse características da estrutura do pavimento. A definição dos subtrechos pelos próprios engenheiros residentes, como era feita até 1990, demonstrou que, mesmo com o treinamento, dificilmente conseguia-se uma padronização de critérios para estabelecer os subtrechos. Já o LVC amarra as informações dos residentes quilômetro a quilômetro de forma mais objetiva, ficando a cargo da coordenação do SGP estabelecer critérios que, com o auxílio de um programa para processamento dos dados, dividirá os trechos do PNV em subtrechos homogêneos de forma padronizada para toda a rede rodoviária federal.

Quaisquer que sejam os critérios utilizados para dividir os trechos do PNV em subtrechos homogêneos, é importante que os pontos de início e fim do trecho do PNV sejam também pontos que delimitam subtrechos homogêneos, não havendo desta forma um subtrecho homogêneo com extensões em dois diferentes trechos do PNV. A observância deste ponto permite melhor referência das informações coletadas e torna mais simples a entrada dos dados no modelo para definição das prioridades, bem como a apresentação dos resultados.

Nos dois últimos levantamentos de campo realizados pelo DNER (1992 e 1996), foram adotados os seguintes parâmetros para definição dos subtrechos homogêneos, a partir dos dados do LVC:

- estrutura
- condição de superfície
- tráfego

2.4.1 - ESTRUTURA

As estruturas dos pavimentos foram agrupadas de acordo com os tipos e espessuras das camadas de revestimento, e codificadas de acordo com a tabela:

<u>Estrutura</u>	<u>Código</u>
Flexível em CA com $h \leq 5,5\text{cm}$	A
Flexível em CA com $5,5\text{cm} < h \leq 10,0\text{cm}$	B
Flexível em CA com $h > 10,0\text{cm}$	C
Flexível em Tratamento Superficial	D
Outros	E

Deve-se observar que a espessura h inclui eventuais restaurações efetuadas no subtrecho considerado.

2.4.2 - CONDIÇÃO DE SUPERFÍCIE

A condição de superfície mereceu critérios mais abrangentes, de forma a considerar as freqüências de defeitos obtidas do LVC e também a avaliação subjetiva da superfície dos pavimentos com base no Valor de Serventia Atual (VSA), definido na norma DNER-PRO 007/94.

As freqüências de defeitos foram representadas por um índice denominado IGGE (Índice de Gravidade Global Expedito), calculado de forma semelhante ao IGG indicado na Norma DNER-PRO 008/78.

Assim:

$$IGGE = \sum f_i P_i$$

Onde:

f_i = fator cujo valor depende da frequência da ocorrência de defeitos;

P_i = fator de ponderação da gravidade dos defeitos.

A tabela do fator “ f_i ” a seguir mostra seu valor em função da frequência de defeitos obtida do LVC.

<u>Frequência do LVC</u>	<u>f_i (%)</u>
A - Alta	75
M - Média	30
B - Baixa	5

Para os fatores de ponderação P_i foram utilizados valores similares aos da Norma DNER-PRO 008/78, porém adaptados à circunstância de não estarem disponíveis todas as informações que a Norma exige. Os valores adotados para P_i são:

<u>Defeito</u>	<u>P_i</u>
PA	1,0
TR, TB, TC (FC 23)	0,7
AF	0,9
ON	1,0
RE	0,6
DE	0,3
EX	0,5

O Valor de Serventia Atual (VSA), como já foi dito, é determinado a partir de avaliação de acordo com a Norma DNER-PRO 007/94, realizada por ocasião do Levantamento Visual Contínuo - LVC. As instruções do LVC (Anexo 4) indicam a seguinte tabela para facilitar o preenchimento da ficha:

<u>Condição</u>	<u>VSA</u>
Excelente	5
Bom	4
Regular	3
Mau	2
Péssimo	1

De posse do IGGE e do VSA, a determinação, o agrupamento e a codificação dos subtrechos homogêneos, quanto à condição de superfície, faz-se de acordo com a seguinte tabela:

<u>Condição</u>	<u>Código</u>
$IGGE \leq 40$ e $VSA > 3,5$	1
$IGGE \leq 40$ e $VSA \leq 3,5$	2
$40 < IGGE \leq 90$ e $VSA > 2,5$	3
$40 < IGGE \leq 90$ e $VSA \leq 2,5$	4
$IGGE > 90$	5
Sem informação	9

2.4.3 TRÁFEGO

Com relação ao volume de tráfego, deve-se observar que constitui um parâmetro já homogêneo para cada trecho do PNV. No entanto, com o objetivo de agrupar os subtrechos de características semelhantes, foram adotadas as faixas de volume de tráfego e os códigos da tabela a seguir:

<u>Faixa de VMD</u>	<u>Código</u>
$VMD \leq 1500$	A
$1500 < VMD \leq 3000$	B
$3000 < VMD \leq 5000$	C
$VMD > 5000$	D
Desconhecido	E

2.4.4 - CODIFICAÇÃO DOS SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

Assim, os subtrechos homogêneos foram identificados por três caracteres que indicam as características estruturais, a condição de superfície e o tráfego. Um subtrecho com pavimento flexível em CA com espessura de 5,0cm, IGGE = 38, VSA = 3 e VMD = 2000 veículos, seria identificado pelo código **A 2 B**.

Nas etapas de levantamentos de campo de 1992 e 1996 utilizou-se o critério de identificar grupos de subtrechos homogêneos com o mesmo código, conforme descrito no parágrafo anterior, em função da necessidade de ser definida, para cada grupo de subtrechos, uma amostra que os represente. O porque da definição dessas amostras, denominadas

“unidades de amostragem” – UAs, será melhor entendido nos próximos capítulos.

2.5 – A ESCOLHA DAS AMOSTRAS NO SGP-DNER

Na gerência de pavimentos a nível de rede, há necessidade de se obter informações referentes aos pavimentos de todos os trechos da malha rodoviária. Esta tarefa, principalmente para malhas de grandes extensões, como a rede federal pavimentada, seria de custo elevadíssimo e praticamente inexecutável. Daí a necessidade e a importância do estabelecimento de subtrechos homogêneos, de forma que cada subtrecho, homogêneo quanto aos parâmetros tráfego, estrutura e condição de superfície, possa ser representado por pequenos segmentos (amostras) onde serão coletadas as informações necessárias.

Os critérios para definição dos segmentos que constituirão as amostras foram estabelecidos pela CPGP em 1983 e fazem parte da Norma DNER-ES 128/83 – Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos-Testemunha de Pavimento Flexível ou Semi-rígido Para Gerência de Pavimentos a Nível de Rede (Anexo 2 deste Volume). Basicamente, locam-se três segmentos-testemunha de 100m cada, no início, no meio e no fim de cada subtrecho homogêneo. A seguir, em cada segmento – testemunha de 100m, locam-se duas superfícies de avaliação de 6m cada, no início e no fim do segmento. Desta forma, cada subtrecho homogêneo, independentemente de sua extensão, terá três segmentos-testemunha de 100m cada, e seis superfícies de avaliação, de 6m cada. A figura 2.5-1 explica melhor do que com palavras o critério para seleção das amostras no SGP-DNER. Os segmentos-testemunha são numerados (1 a 3) dentro do subtrecho homogêneo, obedecendo-se ao sentido da rodovia no PNV. As seis áreas de avaliação são designadas por letras (A a F).

Pode-se observar na figura que, para cada trecho do PNV, teremos quatro níveis de extensões rodoviárias para coletar as informações necessárias ao SGP-DNER: o próprio trecho do PNV, o subtrecho homogêneo, o segmento-testemunha e a superfície de avaliação. A natureza da informação e o grau de complexidade de sua obtenção determinarão em que nível de extensão ela será coletada, como será visto nos próximos capítulos.

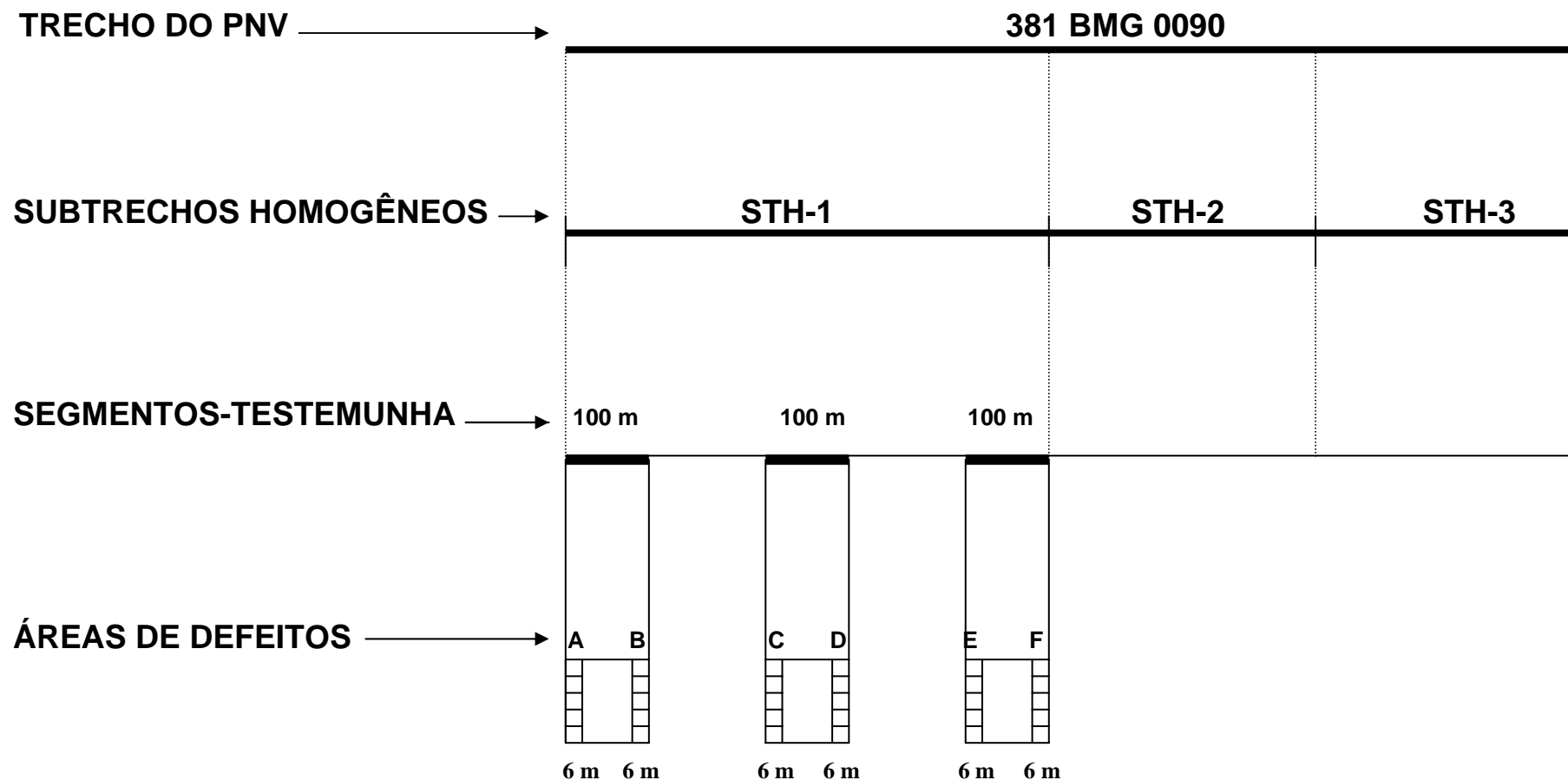
2.6 - AS INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS AO SGP-DNER

As informações necessárias a um sistema gerencial de pavimentos a nível de rede referem-se basicamente ao acompanhamento sistemático e

SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS DO DNER

ESQUEMA DE SELEÇÃO DAS AMOSTRAS PARA LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Figura 2.5-1



periódico dos pavimentos, de forma a permitir a avaliação de seu comportamento em serviço. A partir dessa avaliação será possível prever o desempenho do pavimento e planejar uma adequada política de manutenção para a rede rodoviária.

O grau de detalhamento das informações e a frequência com que elas serão coletadas dependerão das exigências de cada organização rodoviária e do modelo que será utilizado para trabalhar os dados e fornecer o planejamento da manutenção rodoviária. O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER utiliza o modelo HDM, cujos princípios básicos serão descritos mais adiante. Assim, a seleção das informações a serem coletadas para o SGP-DNER teve como objetivo principal alimentar o modelo HDM, embora dados adicionais, considerados de importância para complementar as análises com o modelo, tenham sido incluídos na seleção.

A coleta de informações para o SGP-DNER compreende, resumidamente:

a) Levantar dados referentes à história e à estrutura dos pavimentos, normalmente denominados dados de inventário, e que permanecem imutáveis no intervalo entre duas intervenções sucessivas de reabilitação;

b) Medir características dos pavimentos que se modificam pela ação de tráfego e do ambiente e que permitam as seguintes avaliações:

- Avaliação das condições de superfície dos pavimentos;
- Avaliação estrutural dos pavimentos;
- Avaliação funcional dos pavimentos.

Esses levantamentos, específicos para o Sistema Gerencial de Pavimentos e por isso relatados nos próximos capítulos, deverão ser complementados por dados referentes à solicitação do tráfego, aos custos unitários de execução dos diversos serviços de manutenção e aos custos operacionais dos veículos.

2.6.1 - DADOS DE INVENTÁRIO

Os dados referentes à história e à estrutura do pavimento são necessários à implantação de qualquer sistema gerencial. Torna-se necessário, no entanto, proceder à coleta desse tipo de dado sempre vinculando-o a uma real utilização pelo sistema. Caso contrário, corre-se o risco de se estruturar um banco de dados com excesso de informações, muitas de nenhuma utilidade, e que certamente elevarão os custos da coleta de dados desnecessariamente.

A perfeita referência dos dados de inventário é fundamental para o seu sucessivo aproveitamento enquanto não for alterada a estrutura do pavimento. Para o SGP-DNER, os dados coletados são todos referenciados ao subtrecho homogêneo e resumem-se a:

PISTA DE ROLAMENTO

- Revestimento original - ano, tipo e espessura
- Penúltima restauração - ano, tipo e espessura
- Última restauração - ano, tipo e espessura
- Largura atual da pista de rolamento

ESTRUTURA DO PAVIMENTO

- Base - tipo, espessura e CBR
- Sub-Base - tipo, espessura e CBR
- Subleito - CBR

ACOSTAMENTO

- Tipo
- Largura

DADOS AMBIENTAIS

- Pluviometria
- Relevo

As Instruções Para Caracterização de Subtrechos Homogêneos de Rodovias do PNV (Anexo 3) estabelecem como devem ser coletadas essas informações.

Cabe aqui observar que os dados referentes à geometria horizontal e vertical, que seriam fundamentais no caso da avaliação de novas construções, nunca foram coletados para o SGP-DNER, pressupondo-se que nas obras de restauração a geometria não seria alterada. Assim, eventuais erros na estimativa desses dados ocorrerão no mesmo sentido tanto na situação antes da obra quanto após a obra, não invalidando portanto o cálculo dos benefícios resultantes da realização da obra.

2.6.2 - DADOS PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

A literatura especializada descreve inúmeros métodos para a coleta dos dados necessários para avaliar as condições de superfície dos pavimentos. Na realidade, dificilmente dois órgãos rodoviários utilizarão o mesmo método para esse tipo de coleta. No DNER, duas normas têm sido adotadas pelo Sistema Gerencial de Pavimentos: A DNER-ES 128/83 e a DNER-PRO 008/94.

2.6.2.1 - Norma DNER-ES 128/83

A primeira providência para implantação do SGP-DNER consistiu, em 1983, no desenvolvimento de metodologia e de instruções para o levantamento da condição de superfície dos pavimentos que, conforme já visto, constitui a Norma DNER-ES 128/83 (Anexo 2). Os procedimentos então estabelecidos foram utilizados em todas as etapas do SGP-DNER, com pequenas variações na seleção das amostras (a Norma não faz referência à unidade de amostragem – UA, utilizada nas etapas de 1992 e 1996, e que será descrita mais adiante).

De acordo com a referida Norma, os seguintes dados são coletados para o SGP-DNER:

- Trinca
- Panela ou buraco
- Remendo
- Remendo Profundo
- Remendo Superficial
- Exsudação
- Desgaste
- Afundamento
- Ondulação
- Flecha na Trilha de Roda

O objetivo final da coleta de dados prevista na Norma é determinar o percentual da área do pavimento afetado por cada defeito.

O levantamento dos defeitos é executado apenas nas seis superfícies de avaliação demarcada nos três segmentos-testemunha de cada subtrecho homogêneo. Desta forma, para cada subtrecho homogêneo são levantados defeitos em 36m de extensão, que corresponderão a uma área de 252m², para pistas com largura de 7m (ver item 2.5).

Todos os defeitos encontrados nas seis superfícies de avaliação devem ser levantados, sendo cada defeito demarcado pelo retângulo que o circunscreve. A área desse retângulo deve ser anotada na ficha constante da Norma. Para as trincas isoladas, convencionou-se adotar 0,15m como largura do retângulo.

Ainda de acordo com a Norma DNER-ES 128/83, as medições da flecha na trilha de roda são realizadas na seção transversal média de cada superfície de avaliação, nas trilhas de roda interna e externa de ambas as faixas de tráfego.

2.6.2.2 - Norma DNER-PRO 008/94

Esta Norma, atualizada em 1994, é anterior à Norma DNER-ES 128/83, tendo sua versão original sido aprovada em 1978. Seu principal objetivo é a obtenção do Índice de Gravidade Global (IGG), parâmetro numérico que representa uma qualificação geral do estado do pavimento, em função dos defeitos que o mesmo apresenta.

Embora não tenha sido elaborada especificamente para a gerência de pavimentos, como é o caso da ES 128/83, o SGP-DNER tem incluído dentre os levantamentos realizados aqueles previstos na PRO-008/94 para cálculo do IGG, como informação adicional para a tomada de decisões. A menos de uma única simplificação, qual seja, a de locar as estações de avaliação a cada 50 m ao invés de a cada 20 m, como previsto na Norma, todos os demais procedimentos indicados na PRO-008/94 são adotados pelo SGP-DNER, até o cálculo final do IGG.

O valor do IGG, bem como os dados coletados para fins de sua obtenção, não são utilizados pelo modelo HDM e servirão apenas como indicador complementar para avaliação dos pavimentos e definição nas prioridades de manutenção.

A utilização de duas normas distintas para avaliação das condições de superfície dos pavimentos para o mesmo Sistema Gerencial de Pavimentos não traria maiores problemas, não fossem as diferentes classificações de “trincas” adotadas pelas duas Normas. Enquanto a PRO-008/94 classifica as trincas principalmente pela configuração que apresentam, a ES 128/83 estabelece a classe da trinca em função de sua abertura. A Divisão de Apoio Tecnológico do IPR concluiu estudo que possibilita unificar e padronizar a classificação das trincas nas duas Normas, sem prejuízo para os diferentes objetivos de cada uma. O estudo encontra-se em fase de avaliação e deverá brevemente ser submetido à aprovação.

2.6.3 - DADOS PARA A AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS

A avaliação estrutural de um pavimento pode ser resultado de uma análise dos elementos obtidos no levantamento dos defeitos de superfície ou pode ser desenvolvida, de forma mais direta, através de ensaios, destrutivos ou não destrutivos.

Defeitos existentes no pavimento fornecem informações sobre o efeito do tráfego na estrutura do pavimento. Assim certos tipos de trincas, que caracterizem fadiga, bem como o afundamento em trilhas de roda, podem indicar comprometimento estrutural.

O SGP-DNER, sempre com o objetivo de atender às necessidades do modelo HDM, utiliza, em conjunto com o levantamento de defeitos (item 6.2), a realização de ensaios não destrutivos para avaliação estrutural dos pavimentos, através do levantamento de medidas de deflexão nos segmentos-testemunha dos subtrechos homogêneos.

Nas etapas de levantamentos de campo realizadas até aqui para o SGP-DNER, as medidas de deflexão foram realizadas com utilização da viga Benkelman. Os procedimentos para obtenção das deflexões nos pavimentos pela Viga Benkelman encontram-se detalhadas na Norma DNER-ME 24/94.

Ainda no que se refere à avaliação estrutural cabe ressaltar que, embora não usualmente utilizado pelo Sistema Gerencial do DNER, o número estrutural corrigido (SNC) apresenta-se como importante medida de resistência para a avaliação estrutural dos pavimentos e para utilização em modelos de previsão de desempenho. Na realidade, nas pesquisas empíricas realizadas para o HDM, o SNC foi definido, do ponto de vista estatístico, como a mais significativa medida de resistência relacionada à deterioração dos pavimentos.

O modelo HDM-III aceita como dados de entrada a deflexão Benkelman e o número estrutural. Aceita também que apenas um desses valores seja fornecido. Neste caso, o valor não disponível será calculado internamente pelo modelo, como uma função da medida disponível. O recomendável é que sejam fornecidos ambos os valores, já que o grau de correlação entre as duas medidas é apenas razoável.

2.6.4 – DADOS PARA AVALIAÇÃO FUNCIONAL DOS PAVIMENTOS

2.6.4.1 - Irregularidade Longitudinal

A avaliação das características funcionais dos pavimentos, no âmbito do SGP-DNER, é feita através da irregularidade longitudinal. Conceitua-se irregularidade longitudinal de um pavimento, ou simplesmente irregularidade, como o conjunto dos desvios da superfície viária em relação a um plano de referência, desvios estes que afetam a qualidade do rolamento, a dinâmica dos veículos e a ação dinâmica das cargas sobre a via.

A irregularidade é um fenômeno que pode decorrer de imperfeições no processo construtivo da via, assim como pode ser resultado de sua deterioração em função da ação do tráfego, do clima e de outros fatores. Não se deve entender a irregularidade como mais um defeito de superfície mas sim, como um parâmetro que representa os efeitos que o conjunto de defeitos de um pavimento provoca na condição de rolamento dos veículos.

Assim, a irregularidade influi na interação da superfície da via com os veículos que a utilizam, gerando efeitos sobre os próprios veículos, sobre os passageiros e sobre a carga transportada. A importância do conhecimento da irregularidade de uma via reside portanto na sua correlação com a qualidade do rolamento e, conseqüentemente, com vários componentes dos custos operacionais dos veículos.

A Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários (PICR) permitiu desenvolver equações para o cálculo do custo operacional dos veículos para condições brasileiras, em função da irregularidade e da geometria das vias. Essas equações estão incorporadas ao modelo HDM-III, sendo portanto a determinação da irregularidade de fundamental importância para o Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER.

2.6.4.2 - Medição da Irregularidade

A medida de parâmetros relacionados à irregularidade pode ser realizada por diferentes tipos de equipamentos. Os sistemas medidores classificam-se em quatro grupos:

- **Sistemas de medida direta de perfil** - Método de nível e mira.
- **Sistemas de medida indireta do perfil** - Perfilômetro de superfície GMR, Perfilômetro AASHTO, Perfilômetro CHLOE, Merlin do TRRL.

- **Sistemas do tipo resposta** - Rugosímetro BPR, Bump Integrator, Maysmeter, Integrador IPR/USP.

- **Sistemas de medida com sonda sem contato** - Perfilômetro "Laser" do TRRL, Perfilômetro Acústico da Universidade FELT.

No Brasil, especialmente para o Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER, tem-se utilizado exclusivamente os sistemas medidores de irregularidade do tipo resposta (SMITR). Assim, dados de QI utilizados na Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários-PICR foram obtidos por um equipamento tipo resposta (Maysmeter) calibrado em bases que foram niveladas por meio de um perfilômetro GMR. Os primeiros levantamentos realizados para o SGP-DNER mediram a irregularidade com o uso do Maysmeter. Posteriormente, outro equipamento tipo-resposta desenvolvido no Brasil, o Integrador IPR/USP, passou a ser utilizado nos levantamentos para o SGP-DNER.

2.6.4.3 - Calibração dos Sistemas Medidores de Irregularidade do Tipo-Resposta.

Montados em veículos de passeio convencionais ou em pequenos reboques, os sistemas do tipo resposta, baseando-se na reação do veículo às condições de superfície da via, têm seu funcionamento dependente das características da suspensão e dos pneumáticos do veículo utilizado. Daí resulta a necessidade de um procedimento de calibração para que os resultados obtidos por diferentes sistemas sejam comparáveis entre si. Além disso, qualquer alteração no sistema de rodagem ou da suspensão do veículo pode provocar alterações nas leituras fornecidas, o que leva à necessidade de calibrações periódicas de cada sistema.

As leituras fornecidas pelo SMITR, para um determinado segmento, representam a somatória acumulada dos movimentos relativos observados entre a carroceria do veículo e o eixo traseiro deste, devendo ser correlacionadas, através de uma equação de calibração, à escala padrão adotada. Via de regra, o quociente de irregularidade QI, expresso em contagens/km, é uma função linear da leitura L do sistema integrador, ou seja:

$$QI = a + b L$$

Onde a e b são constantes passíveis de determinação, pela aplicação do método dos mínimos quadrados a um conjunto de pares (QI)_i e (L)_i, definidos para diversos segmentos de distintas irregularidades.

A definição da equação de calibração de um SMITR pressupõe a execução prévia das seguintes atividades básicas:

- 1ª) Seleção de trechos ou segmentos com distintas condições de rolamento, as quais devem variar desde irregularidades baixas até altas;
- 2ª) Determinação, por processo adequado, do quociente de irregularidade – QI de cada segmento (este processo pode ser o de nível e mira, a utilização de um perfilômetro, ou do rugosímetro Merlyn, etc...);
- 3ª) Determinação das leituras L do SMITR para cada segmento, para cada velocidade de operação selecionada;
- 4ª) Aplicação do método dos mínimos quadrados para determinação dos coeficientes a e b da equação citada, gerando-se uma equação para cada velocidade estabelecida.

Essas atividades encontram-se descritas com detalhes na Norma DNER-PRO 164/94.

Estando calibrado o sistema medidor de irregularidade do tipo-resposta, a medição na rede ou no trecho de interesse pode ser efetuada com grande rapidez, sendo necessária uma equipe composta apenas por um motorista e um anotador.

Selecionada a velocidade de medição, a qual deve ser compatível com o volume de tráfego e as características geométricas da via, o veículo deve percorrer a via com velocidade constante, sendo repetidos os segmentos em que isto não for possível.

A cada lance, usualmente de 320 m, o aparelho emite um sinal sonoro e através de um display informa a leitura L, representativa da irregularidade acumulada no lance em questão. O valor do QI é posteriormente calculado em escritório, empregando-se a equação de correlação correspondente. A Norma PRO 182/94 do DNER trata em detalhes da medição de irregularidade em segmentos rodoviários.

2.6.4.4 - Escala IRI Para Medição da Irregularidade

Além do QI (Quociente de Irregularidade) já mencionado, a irregularidade pode ser medida em diversas escalas padronizadas, na dependência do equipamento de medição. Como resultado de uma pesquisa internacional

de medição de irregularidade, realizada em Brasília no ano de 1982, foi estabelecida a escala "International Roughness Index" – IRI, que é uma escala de referência transferível para todos os sistemas de medição.

O IRI é definido matematicamente a partir de um perfil levantado por nível e mira (ou equipamento similar), nas trilhas de roda, visando simular os movimentos verticais induzidos no deslocamento de um quarto-de-carro. O índice é expresso pela relação entre os movimentos acumulados da suspensão do veículo e a distância percorrida pelo veículo e, geralmente, a unidade de medida do IRI é m/km. O método computacional e as equações matemáticas utilizadas no desenvolvimento do IRI são descritas por Sayers em Boletim Técnico do Banco Mundial.

Embora no Brasil a escala padrão de medição da irregularidade seja o QI, o modelo HDM-III exige como dado de entrada a irregularidade expressa em IRI, devendo-se portanto converter para IRI o valor do QI obtido a partir dos levantamentos de campo, através da relação $IRI = QI/13$.

2.6.5 – CONSOLIDAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Todas as informações necessárias ao SGP-DNER, após coletadas, são registradas nas fichas para caracterização de subtrechos homogêneos de rodovias do Plano Nacional de Viação. Para cada ficha corresponderá um único subtrecho homogêneo da rede federal pavimentada. As fichas e as respectivas instruções para seu preenchimento encontram-se apresentadas no Anexo 3 e complementam a Norma DNER-ES 128/83 (Anexo 2).

2.7 - AS UNIDADES DE AMOSTRAGEM (UAs)

Já foi dito que, em 1983, a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos do DNER desenvolveu a metodologia e as instruções para o levantamento das condições de superfície dos pavimentos flexíveis para a gerência de pavimentos a nível de rede, trabalho que constitui a Norma Rodoviária DNER-ES 128/83 (Anexo 3), ainda hoje em vigor. No período 1984-1990 foram executados, diretamente pelos engenheiros residentes do DNER, quatro levantamentos de campo, nos quais foram obedecidos rigidamente os critérios preconizados pela Norma DNER-ES 128/83, expostos nos capítulos anteriores.

No entanto, a partir do momento em que os levantamentos foram contratados, houve a necessidade de simplificar os critérios, de forma a reduzir custos. Fugindo do estabelecido na Norma, os levantamentos passaram a ser realizados em unidades de amostragem – UAs que representam um grupo de trechos, obtendo-se, desta forma, significativa

redução no número de amostras a serem levantadas.

No item 2.4 descreveram-se os critérios de definição e codificação dos subtrechos homogêneos, a partir do Levantamento Visual Contínuo – LVC. De acordo com esses critérios, os subtrechos homogêneos identificados com o mesmo código apresentam valores semelhantes para características estruturais, para condições de superfície e para volume de tráfego. Esses subtrechos semelhantes podem, portanto, ser representados por uma unidade de amostragem localizada em um dos subtrechos. Os parâmetros referentes à condição de superfície, levantados nessa UA, são então adotados para todos os subtrechos homogêneos de mesmo código.

No levantamento de campo realizado para o SGP-DNER em 1995/1996, convencionou-se que a unidade de amostragem, com 1 km de extensão, seria localizada no centro do subtrecho homogêneo.

Uma vez definida a unidade de amostragem, são demarcados três segmentos-testemunha de 100m cada, no início, no meio e no fim de cada UA (figura 2.7-1), procedendo-se a partir daí de acordo com a Norma DNER ES-128/83.

Deve-se observar que a quantidade de unidades de amostragem na rede será função dos recursos disponíveis. Normalmente, os recursos permitirão que cada grupo de subtrechos com o mesmo código seja representado por mais de uma unidade de amostragem. No levantamento realizado em 1995 para o SGP-SNER foram definidos cerca de 12.000 subtrechos homogêneos para a rede federal pavimentada, representados por 1.500 UAs, reduzindo-se desta forma à oitava parte o número de segmentos-testemunha, em comparação ao número que seria obtido se utilizados os critérios da Norma DNER-ES 128/83.

2.7.1 - SELEÇÃO DE AMOSTRAS – PERMANECE O PROBLEMA

A redução de custos propiciada pela utilização das UAs, ao invés da realização dos levantamentos como preconiza a Norma DNER-ES 128/83, certamente reduz também o nível de acerto ao se expandir os dados coletados nas amostras para todos os trechos da rede rodoviária. Com a preocupação de avaliar até que ponto a realização de levantamentos detalhados de defeitos em tão poucas amostras seria significativo para os resultados gerais da avaliação a nível de rede com o modelo HDM-III, o IPR, através da Divisão de Apoio Tecnológico, desenvolveu, em 1997, dois estudos, tendo por base os levantamentos realizados em 1995/1996 para o Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER. No primeiro estudo, através da análise de nove trechos rodoviários, procurou-se avaliar a sensibilidade

SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS DO DNER UNIDADES DE AMOSTRAGEM (UAs)

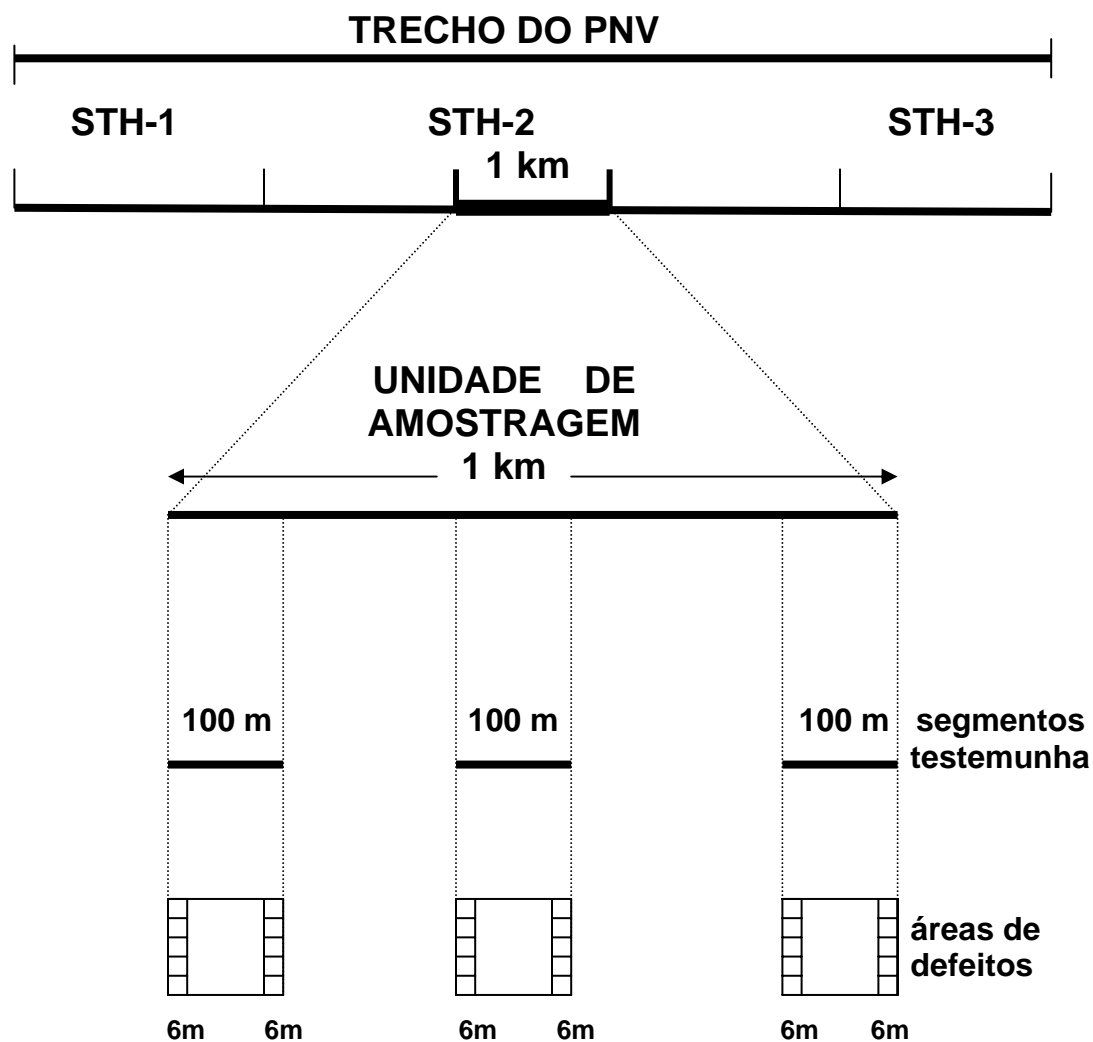


FIGURA 2.7-1

do modelo HDM-III às variações das trincas do pavimento, mantendo-se fixos os demais parâmetros de entrada. No segundo estudo, os mesmos nove trechos foram submetidos a duas avaliações econômicas com o modelo HDM, uma abastecida com dados do LVC e outra, com dados do levantamento detalhado nas UAs.

Como conclusão resumida dos estudos, pode-se dizer que os dados obtidos nos levantamentos em unidades de amostragem, referentes a áreas de defeitos, em nada melhoram a análise a nível de rede realizada com o HDM-III, se comparados com os dados estimados a partir do LVC. Os levantamentos detalhados em UAs podem portanto ser suprimidos, obtendo-se os dados de defeitos do LVC, poupando-se recursos que podem ser empregados na coleta mais extensa de dados para os quais o modelo HDM apresenta maior sensibilidade (volume de tráfego, quociente de irregularidade e deflexão).

Nos próximos levantamentos para o SGP-DNER as recomendações acima já serão adotadas. No entanto, estudos mais aprofundados devem ser desenvolvidos, principalmente envolvendo os critérios de definição de amostras preconizados na Norma DNER-ES 128/83, de forma a obter-se eficiência nos levantamentos de campo para a gerência de pavimentos.

2.8 - FREQUÊNCIA DOS LEVANTAMENTOS

A frequência com que devem ser realizados os levantamentos para um sistema gerencial de pavimentos dependerá de diversos fatores, dentre os quais se destacam:

- recursos disponíveis;
- parâmetro a ser levantado;
- tipo de rodovia;
- volume e composição do tráfego;
- condições do trecho.

No caso do DNER, a experiência tem demonstrado que as razões de ordem político-administrativa têm sido mais determinantes para o espaçamento temporal entre os diversos levantamentos realizados do que os fatores puramente técnicos. No entanto, é recomendável estabelecer-se diretrizes de ordem técnica que, associadas aos problemas financeiros e administrativos, determinarão o planejamento dos levantamentos de campo, de forma a não se desperdiçar recursos e dispor-se dos dados necessários para atendimento aos objetivos do SGP.

Aqui torna-se importante dizer que a gerência de pavimentos a nível de

rede deve estabelecer um programa de investimentos em manutenção, com o menor custo total possível, para todos os trechos da rede rodoviária. Desta forma, as rodovias principais, as secundárias, as rodovias em bom ou em mau estado, enfim, todos os trechos da malha devem receber uma recomendação de manutenção de forma a minimizar o custo total de transportes. As informações para alimentar os modelos de avaliação econômica devem pois estar igualmente disponíveis para todos os trechos da malha. Obter dados e gerenciar apenas as rodovias em mau estado pode parecer a solução quando os recursos para planejamento são escassos. É certo, porém, que as rodovias em estado regular e bom também deverão ser objeto de avaliação técnico-econômica para que o conjunto de estratégias de manutenção para a totalidade da malha propicie o menor custo total de transportes, considerados os recursos disponíveis. Uma menor frequência para os levantamentos de defeitos poderá, no entanto, ser adotada para os pavimentos novos.

A tabela apresentada a seguir procura estabelecer a freqüência dos levantamentos em função da taxa de variação anual observada para cada um dos parâmetros utilizados pelo modelo HDM.

FREQUÊNCIA DOS LEVANTAMENTOS

PARÂMETRO	TAXA DE VARIAÇÃO ANUAL (%/ANO)	FREQUÊNCIA (ANOS)
DEFEITOS NOVOS	0 - 5	1 - 3
DEFEITOS ANTIGOS	5 – 50	1 - 2
IRREGULARIDADE	1 – 10	1 - 2
DEFLEXÃO	0 – 2	EM NOVO PROJETO
TRÁFEGO (VOLUME)	0 – 10	1 - 3
GEOMETRIA	0	APÓS SERVIÇOS

Tabela 2.8-1

3. O MODELO PARA AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES

3 – O MODELO PARA AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES

3.1 – CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES

Como foi visto no capítulo anterior, os levantamentos de campo realizados para o SGP-DNER têm como objetivo principal abastecer o modelo HDM-III, que será descrito mais adiante. Existem, no entanto, critérios mais simples para a definição de prioridades de manutenção que já foram utilizados, em passado não muito longínquo, pelo DNER. Esses critérios, embora não levem em consideração fatores de ordem econômica, podem eventualmente ter ainda aplicação por sua rapidez e custo reduzido. Na realidade, a utilização de modelos de avaliação econômica com restrição orçamentária pressupõe uma estabilidade mínima no fluxo de recursos para manutenção rodoviária. Não estando satisfeita essa condição, melhor seria a adoção de critérios simplificados para definir os trechos a serem restaurados. Este assunto será objeto de consideração mais detalhada no Capítulo 4.

Diversos critérios para estabelecimento das necessidades e das prioridades de restauração já foram utilizados pelo DNER. Resumidamente, em ordem crescente de complexidade, esses critérios podem ser relacionados como segue:

- a) Critérios subjetivos – baseados em escolha subjetiva, simples e rápida, porém sujeita a inconsistência e quase sempre tendenciosa. Utilizada pelo DNER até o final da década de 70.
- b) Critérios baseados em indicadores físicos – também de aplicação simples, utiliza parâmetros como a serventia, a deflexão ou a deterioração do pavimento (p. ex. área trincada).
- c) Critérios baseados em indicadores físicos, ponderados pelo volume de tráfego – relativamente simples, aproxima-se mais da solução ótima.
- d) Critérios baseados em modelos de análise de investimentos – aplicação mais complexa, permite a determinação da solução ótima sob o ponto de vista econômico para cada trecho rodoviário.
- e) Critérios baseados em modelos de análise de investimentos, associados a modelos de restrição orçamentária – complementa o anterior, adequando a

programação ótima aos recursos disponíveis.

O SGP do DNER já se utilizou dos métodos descritos nos itens c, d e e. Em 1985, após a realização dos primeiros levantamentos de campo em toda a rede federal pavimentada, foram estabelecidas as prioridades de investimentos em manutenção utilizando-se o Índice de Suficiência, critério baseado em indicadores físicos, ponderados pelo volume de tráfego (item c). Nas definições de prioridades realizadas em 1986, 1987 e 1989 foi utilizado o modelo HDM-III, obtendo-se a solução ótima para cada trecho sem qualquer preocupação quanto à disponibilidade de recursos (item d). Já nas duas últimas avaliações do SGP-DNER (1994 e 1996) foi utilizado o modelo EBM em conjunto com o HDM-III para definir prioridades de investimentos, considerando-se um orçamento limitado (item e).

A seguir encontram-se descritos de forma mais detalhada os modelos utilizados pelo SGP-DNER para avaliação e definição das prioridades de investimentos em manutenção.

3.2 - O ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA

O emprego do Índice de Suficiência (IS) tornou-se atrativo por ser simples e rápido. Por outro lado, o IS não leva em consideração, ao menos diretamente, qualquer fator de ordem econômica. Desta forma, os projetos e as prioridades estabelecidas pelo IS não conduzem necessariamente ao menor custo total de transporte rodoviário. O desenvolvimento do IS é descrito a seguir, em texto adaptado das diversas publicações da CPGP.

O IS foi concebido para ser um número que varia de zero a 100, traduzindo quantitativamente o grau de suficiência de um subtrecho homogêneo de rodovia. Quanto maior o IS, melhor deve ser o trecho. Ao baixo IS corresponderá subtrecho deteriorado, necessitando de restauração e com tráfego prejudicado.

As variáveis selecionadas para participarem do Índice foram:

- QI - Quociente de irregularidade (contagens/km)
- AU - TMD de automóveis (veículos/dia)
- ON - TMD de ônibus (veículos/dia)
- CA - TMD de caminhões (veículos/dia)
- TR - Percentagem de área do pavimento com trincas de classe 2 ou maior, remendos e buracos (ou porcentagem de área de desgaste, se preponderar sobre a de trincas).
- DB - Deflexão Benkelman média (centésimos de milímetro)
- PL - Pluviosidade do local do trecho (mm/ano)

- RL – Classe do relevo onde se situa o trecho

<u>Relevo</u>	<u>RL</u>
Plano	<u>1</u>
Ondulado	<u>2</u>
Montanhoso	<u>3</u>

Analisando-se as variáveis participantes e considerando-se as premissas de concepção do IS, verifica-se que o IS deverá diminuir com o aumento de qualquer uma das variáveis. Ou seja, quanto maiores forem a irregularidade, o tráfego, a área trincada ou desgastada, a deflexão, a pluviosidade e a classe do relevo, mais solicitado e deteriorado é o trecho e menor deve ser o IS.

Por conseguinte, uma primeira idéia da equação seria:

$$IS = 100 - (QI + AV + ON + CA + TR + DB + PL + RL)$$

No entanto, para se obter um índice que seja função precípua do QI e do TMD, estas duas grandezas devem participar como fatores, e não como parcelas. Pode-se então modificar a equação para:

$$IS = 100 - (QI) \times (AV + ON + CA) \times (TR + DB + PL + RL)$$

ou,

$$IS = 100 - (FQI \times FTMD \times FTDPR)$$

onde

$$FQI = QI$$

$$FTMD = AV + ON + CA$$

$$FTDPR = TR + DB + PL + RL$$

Para que o Índice de Suficiência varie entre 0 e 100 e apresente média 50, incorporou-se à equação os coeficientes a e b, da seguinte forma:

$$IS = 100 - a \times (FQI \times FTMD \times FTDPR)^b$$

sendo:

$$a \text{ (MAX)}^b = 100$$

$$a \text{ (ESP)}^b = 50$$

Onde MAX e ESP são os valores máximo e esperado do produto FQI x FTMD x FTDPR e que conduziriam o IS a zero e 50, respectivamente.

Por outro lado, tendo em vista as diferentes magnitudes numéricas das variáveis participantes (p. ex. QI = 35 cont/km e PL = mm/ano), optou-se por normalizá-las. A normalização consiste em obter grandezas transformadas, função das iniciais, que tenham a mesma amplitude máxima. Desta forma é possível também associar expoentes a cada grandeza, de forma a lhes atribuir diferentes influências no Índice.

Foi empregada a função normal reduzida de GAUSS, mesmo sabendo-se que nem todas as variáveis têm distribuição normal. As variáveis reduzidas, sendo adimensionais, permitem ainda que o IS seja um número puro.

A grandeza normalizada é a área sob a curva normal reduzida, que varia de 0 a 1 em correspondência à variação de cada grandeza entre os extremos do seu domínio. As áreas são multiplicadas por 10 para melhor se perceber os efeitos dos expoentes adotados para cada grandeza. Esses expoentes foram estabelecidos pelo bom senso de especialistas em pavimentação.

Assim:

$$1 - \text{FQI} = (10 \times S(\text{QI}))^{1,3}$$

$$2 - \text{FTMD} = (10 \times S(\text{AV}))^{1,0} + (10 \times S(\text{ON}))^{1,3} + (10 \times S(\text{CA}))^{1,3}$$

$$3 - \text{FTDPR} = (10 \times S(\text{TR}))^{1,3} + (10 \times S(\text{DB}))^{1,0} + 10 \times S(\text{PL})^{0,7} + (10 \times S(\text{RL}))^{0,7}$$

Onde $S(X)$ = Área da curva normal, no intervalo de menos infinito até $R(X)$

$$\text{Sendo } R(X) = \frac{X - \bar{X}}{\text{SIG } X}$$

\bar{X} → média ponderada da distribuição de X;

$\text{SIG } X$ → desvio-padrão ponderado dessa distribuição.

Note-se que foram utilizados os valores 0,7 , 1,0 e 1,3 para modificar a influência de cada grandeza no índice, adotando-se o expoente de 1,3 para a irregularidade, para o TMD de ônibus e caminhões e para a área trincada,

fatores que foram considerados de maior importância para priorizar um trecho.

Voltando-se às expressões 1, 2 e 3, se as áreas variam entre 0 e 1, tem-se como área máxima o valor 1 e como área esperada o valor 0,5. Logo:

$$\begin{aligned} \text{FQI máx} &= 10^{1,3} = 19,95 \\ \text{FTMD máx} &= 10^{1,0} + 10^{1,3} + 10^{1,3} = 49,91 \\ \text{FTDPR máx} &= 10^{1,3} + 10^{1,0} + 10^{0,7} + 10^{0,7} = 39,98 \end{aligned}$$

$$\text{Donde: Máx} = 19,95 \times 49,91 \times 39,98 = 39,806$$

E também:

$$\begin{aligned} \text{FQI esp} &= 5^{1,3} = 8,103 \\ \text{FTMD esp} &= 5^{1,0} + 5^{1,3} + 5^{1,3} = 21,21 \\ \text{FTDPR esp} &= 5^{1,3} + 5^{1,0} + 5^{0,7} + 5^{0,7} = 19,27 \end{aligned}$$

$$\text{Donde: Esp} = 8,103 \times 21,21 \times 19,27 = 3312$$

Para se ter a e b resolve-se o sistema:

$$\begin{aligned} a \times (\text{MAX})^b &= 100 \\ a \times (\text{ESP})^b &= 50 \end{aligned}$$

Nosso sistema passa a ser:

$$\begin{aligned} a (39.806)^b &= 100 \\ a (3.312)^b &= 50 \end{aligned}$$

A resolução do sistema fornece:

$$\begin{aligned} a &= 0,2788 \\ b &= 5,220 \end{aligned}$$

A expressão final do Índice de Suficiência:

$$\text{IS} = 100 - 5,220 (\text{FQI} \times \text{FTMD} \times \text{FTDPR})^{0,2788}$$

Esta expressão foi empregada em 1985, quando pela primeira vez coube à CPGP, então responsável pelo SGP/DNER, estabelecer os trechos prioritários para receber investimentos em manutenção. As prioridades

então definidas pelo Índice de Suficiência tiveram grande aceitação junto aos técnicos dos Distritos Rodoviários Federais do DNER, pois coincidiam em grande parte com as necessidades de manutenção por eles indicadas. O Banco Mundial à época aceitou incluir em programas de financiamento trechos indicados pelo IS, embora recomendasse que o SGP-DNER desenvolvesse rapidamente métodos baseados em avaliação econômica.

Em 1986, após a primeira avaliação econômica da rede federal pavimentada com utilização do modelo HDM-III, o Índice de Suficiência foi alterado, com o objetivo de correlacioná-lo com os resultados da avaliação econômica, através de uma análise estatística de regressão. Este novo estudo modificou os expoentes do IS, de forma a ajustá-lo aos valores presentes dos benefícios obtidos na avaliação econômica. Este novo IS foi no entanto pouco utilizado pelo SGP-DNER, pois preferiu-se obter as prioridades de investimentos da própria aplicação do modelo HDM-III, recomendada pelo Banco Mundial em seus programas de financiamento.

3.3 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA COM O MODELO HDM-III

Basicamente, o objetivo de qualquer avaliação econômica para definir os investimentos na manutenção de uma infra-estrutura rodoviária consiste em procurar aqueles investimentos que minimizem o custo total de transporte, entendendo-se como custo total de transportes a soma dos custos de operação dos veículos e dos custos de manutenção da infra-estrutura (no custo de operação dos veículos, dependendo da disponibilidade de dados, podem estar incluídos os custos de acidentes). Quanto mais se investir em manutenção, menor será o custo de operação dos veículos que trafegam na malha. Haverá, no entanto, um nível de investimentos a partir do qual a redução no custo de operação não mais justificará o investimento adicional, nível este que corresponderá ao mínimo custo total de transportes (ver fig.3.3-1).

Seguindo esse princípio, o HDM (Highway Design and Maintenance Standards Model) é um instrumento para a avaliação de projetos de construção e manutenção rodoviárias. A tarefa básica do modelo consiste na comparação de alternativas de projetos e de estratégias de manutenção, a partir da avaliação conjunta dos custos de Construção e de Manutenção, normalmente a cargo dos órgãos públicos, e dos custos de operação dos veículos, nos quais incorrem os usuários das rodovias. Através da comparação de várias alternativas, o HDM pretende identificar aquela que corresponda ao menor custo total para a sociedade. Os resultados e as comparações são também apresentados em termos de taxa interna de retorno e valor presente dos benefícios.

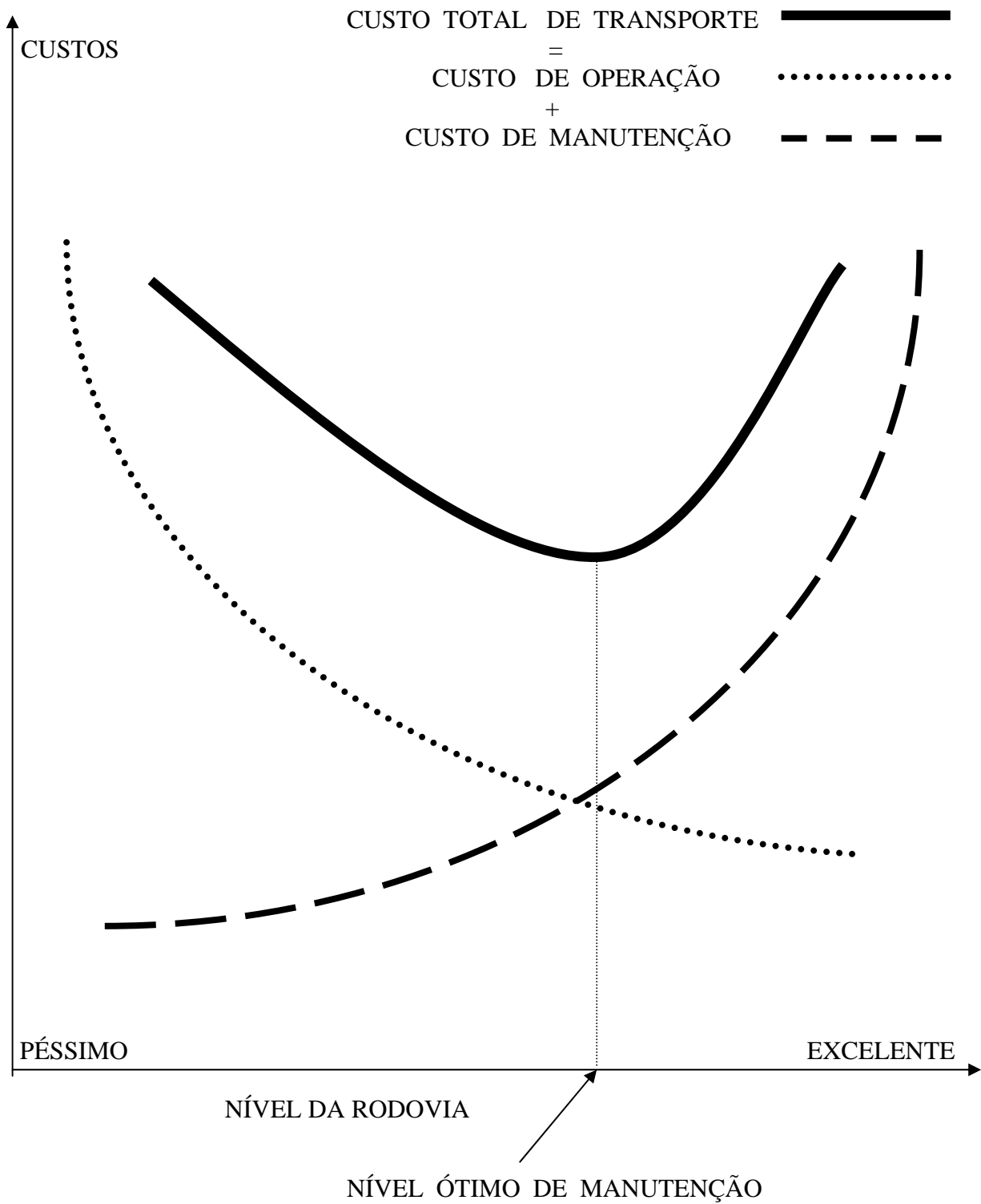


Figura 3.3-1

A originalidade do modelo deve-se à sua capacidade de simular a deterioração das rodovias e, conseqüentemente, a evolução do estado da superfície de rolamento, sob os efeitos do tráfego, das condições ambientais e das operações de manutenção realizadas.

O modelo é resultado de uma pesquisa de 15 anos desenvolvida por técnicos do Departamento de Transportes do Banco Mundial, com participação de organizações especializadas de diversos países. Três versões do modelo foram sucessivamente desenvolvidas. A versão HDM-III, disponível em 1985, era, até 1999, a mais completa e de melhor desempenho. Diversas universidades e órgãos de pesquisa rodoviária de diferentes países participaram do programa de pesquisa e desenvolvimento do modelo. Assim, as fases do programa de pesquisas, destinadas à coleta dos dados necessários para a obtenção das equações empíricas que constituem o modelo, foram desenvolvidas sucessivamente no Quênia, no Caribe, no Brasil e na Índia, o que permitiu a elaboração progressiva do modelo. No Brasil as equações empíricas foram obtidas com dados da Pesquisa de Inter-relacionamento dos Custos Rodoviários - PICR, sediada no GEIPOT e que contou com a participação do IPR - DNER, realizada no período 1975/1984.

Ainda que se constitua em poderosa ferramenta para a tomada de decisões, o modelo HDM-III possui limitações que devem ser conhecidas. As principais são:

- As equações empíricas para avaliação dos custos de operação dos veículos não foram estabelecidas para condições de tráfego congestionado.
- A previsão de deterioração das rodovias não se aplica a pavimentos rígidos (pavimentos de concreto - cimento).
- O modelo não avalia obras de arte nem considera problemas com o sistema de drenagem das rodovias.

Não é objetivo deste documento detalhar o modelo HDM-III. Para isto, devem ser procurados os manuais do modelo e a literatura existente sobre a matéria. Uma visão geral do modelo será no entanto apresentada a seguir, com o objetivo de tornar clara como foi a sua utilização pelo Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER.

3.3.1 - A OPERAÇÃO DO MODELO HDM-III

O modelo HDM pode ser aplicado a um projeto rodoviário isoladamente ou à totalidade da rede rodoviária de um determinado país ou região. O período de duração da análise é estabelecido pelo usuário do modelo. O

modelo, como foi visto, é capaz de avaliar projetos de construção e de manutenção, em conjunto ou separadamente.

Apresentam-se a seguir as etapas de análise percorridas pelo HDM-III para avaliação de uma infra-estrutura rodoviária, num determinado ano do período de análise considerado. Considerado o objetivo do SGP-DNER de sua aplicação apenas em rodovias já pavimentadas, para avaliação das prioridades de restauração, não devem ser consideradas as etapas descritas a seguir que envolvem projetos de construção, mantidas para que se tenha uma visão global do modelo.

Todos os anos são tratados da mesma forma, sucessivamente, levando-se em conta a cada ano a evolução física de cada trecho da rede rodoviária resultante da simulação feita para o ano anterior e as operações realizadas na rede no ano em questão. Assim, para um determinado ano n , as operações do HDM-III desenvolvem-se através dos submodelos:

- submodelo de tráfego - calcula, para cada trecho da rede, o volume e a composição do tráfego no ano n , em função das taxas de crescimento fornecidas como entrada e do tráfego do ano $n-1$;
- submodelo de projetos - permite a inclusão na rede considerada dos projetos de novas construções e de melhoramentos ou de pavimentação de rodovias, eventualmente programados para o ano n , e calcula os custos de construção correspondentes para este ano;
- submodelo de deterioração e manutenção - simula a deterioração de cada trecho da rede ao longo do ano n sob os efeitos do tráfego e em função das condições do pavimento e das condições ambientais; ele leva em conta os serviços de manutenção do ano n , resultantes da alternativa de manutenção testada pelo usuário do modelo, e calcula os custos de manutenção a partir dos custos unitários dos serviços fornecidos como entrada;
- submodelo de custos de operação - calcula os custos dos usuários a partir das características geométricas, das condições da superfície de rolamento das rodovias e do tráfego, informações fornecidas pelos submodelos já descritos. Devem ser ainda fornecidos como entrada as características e os custos unitários de manutenção dos veículos e de tempo de viagem;
- submodelo de benefícios e custos exógenos - leva em conta, ainda para o ano n , benefícios e custos fornecidos diretamente pelo

usuário do modelo, resultantes de efeitos indiretos que adviriam a partir da implantação do projeto rodoviário em estudo, tais como redução do número de acidentes, redução da poluição ambiental, desenvolvimento econômico da região atravessada pela rodovia etc.;

- submodelo de avaliação econômica - calcula e atualiza os diversos custos e os benefícios do ano n para cada alternativa testada. Ao final da análise, este submodelo fornece os custos de construção, de manutenção e de operação para cada ano, os custos totais para um determinado período de análise, uma análise comparativa de custos e benefícios e as taxas internas de retorno para cada alternativa. Estes resultados são normalmente obtidos a partir da comparação entre cada alternativa testada e uma outra, tomada por base, que consistiria em praticamente não investir no trecho, executando-se apenas uma conservação de rotina.

No caso do SGP-DNER, como já foi dito, os submodelos de projetos e de benefícios e custos exógenos não são utilizados, sendo apenas avaliadas diferentes estratégias de manutenção para cada subtrecho da rede pavimentada.

Resumindo o que foi descrito para os submodelos e considerando apenas os objetivos do SGP-DNER, para cada estratégia de manutenção avaliada para determinado trecho rodoviário, o HDM-III simula ano a ano a sua deterioração, em função das condições iniciais do pavimento, das operações de manutenção, do tráfego e das condições ambientais.

A partir da simulação das condições do pavimento e tendo o volume e as taxas de crescimento do tráfego como dados de entrada, o modelo calcula os custos de operação dos veículos, para cada ano do período de análise. De posse dos custos anuais de operação e dos custos anuais de manutenção, é determinado o custo total de transportes, para todo o período de análise, e o seu valor presente líquido, a partir de uma taxa de desconto fornecida ao modelo. Este valor presente do custo total de transportes, correspondente à estratégia de manutenção em análise, é comparado ao valor presente do custo total de transportes referente a uma estratégia base, que normalmente corresponde à execução de conserva rotineira e 100% de tapa-buracos.

3.3.2 - O HDM-MANAGER

O programa HDM-III, em sua forma plena, é pouco amigável, exigindo do usuário conhecimento e atenção para a entrada dos dados. Em

compensação, pode avaliar 20 trechos com diferentes volumes de tráfego simultaneamente em uma única rodada. Permite ainda a divisão de cada trecho em diferentes seções com características geométricas distintas e a avaliação de até 10 combinações diferentes de trecho-alternativa na mesma rodada. O SGP-DNER utilizou o modelo HDM-III em sua forma plena e ainda em computador de grande porte no período 1985/1990.

Em 1991 surgiu a primeira versão do HDM Manager – HDM-MAN, software que gerencia a entrada e saída de dados do HDM-III, tornando a utilização do modelo infinitamente mais simples e apresentando seus resultados de forma mais prática. Por outro lado, limita as possibilidades de utilização do modelo, admitindo que se avalie apenas um trecho em cada rodada, com cinco alternativas de investimentos para o mesmo. No entanto, logo foram disponibilizados programas de apoio que permitiram contornar essa limitação.

Em 1995 os usuários puderam contar com a versão 3.0 do HDM-MAN, à qual foi adicionada a possibilidade de realizar análise de congestionamento de tráfego. Nesta versão foram também embutidos os programas utilitários LOOP-MAN e ROADS. O primeiro permite a execução de uma sequência de rodadas automaticamente, o que facilita enormemente a avaliação de diversos trechos ou de uma rede rodoviária. O utilitário ROADS possibilita ao usuário a edição em forma de tabela dos dados de entrada de um grupo de rodovias.

Na etapa 1995/1996, o SGP-DNER utilizou a versão 3.0 do HDM-MAN para avaliar a totalidade da rede rodoviária federal pavimentada, como será visto nos próximos capítulos.

3.4 - UTILIZAÇÃO DO HDM PARA A REDE FEDERAL PAVIMENTADA

3.4.1 – A MATRIZ DE CÉLULAS

A concepção teórica descrita anteriormente, ao ser aplicada a uma rede rodoviária com 50.000 km e que, na última avaliação, em 1996, foi subdividida em cerca de 12.000 subtrechos homogêneos, exige que se façam simplificações. Embora possível, não seria viável avaliar diferentes estratégias de manutenção para cada um dos subtrechos homogêneos.

Para contornar o problema, o SGP-DNER elegeu variáveis mais importantes, estabelecendo faixas de valores para cada variável, no sentido de melhor caracterizarem a utilização e o estado de conservação de rede. Os milhares de subtrechos homogêneos puderam então ser representados por uma matriz fatorial, onde cada célula da matriz congrega subtrechos cujas características principais são semelhantes. A figura 3.4.1-1

representa a matriz fatorial utilizada na avaliação de rede executada pelo SGP-DNER em 1996. Desta forma, para efeito de análise pelo modelo HDM-III, cada célula se comportará como um trecho. No caso da matriz de 1996, foram estabelecidas 72 células, que corresponderão à análise pelo HDM de 72 trechos. Cada uma das células, na realidade, representa todos os subtrechos homogêneos que se enquadraram nas faixas das variáveis eleitas para definirem a célula.

Os valores dos dados de entrada de cada célula para a análise com o modelo HDM-III serão as médias ponderadas dos dados levantados de todos os subtrechos homogêneos que compõem aquela célula. A estratégia de manutenção selecionada pelo modelo para a célula deverá portanto ser adotada para todos os subtrechos homogêneos a ela pertencentes.

Para montar a matriz de células de 1996 foram considerados dois tipos de revestimento (concreto asfáltico e tratamento superficial) e seis faixas de tráfego. Aos revestimentos em tratamento superficial foram correlacionadas as três mais baixas faixas de tráfego. Foram também selecionados dois níveis de deflexão e quatro níveis do quociente de irregularidade (IRI) para representarem a capacidade estrutural e a condição de superfície dos pavimentos, respectivamente.

Não foi sempre a mesma a matriz de células utilizada pelo SGP-DNER. Até 1990, o SGP-DNER utilizava uma matriz com 108 células que, além das variáveis citadas, era definida também por diferentes níveis de área trincada dos pavimentos (figura 3.4.1-2). Em 1994, foi utilizada uma matriz com apenas 36 células (figura 3.4.1-3).

3.4.2 - DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

As estratégias de manutenção a serem avaliadas pelo modelo HDM-MAN devem ser estruturadas e fornecidas como entrada ao modelo. Certamente, a formulação de estratégias de manutenção para uma rede rodoviária constitui tarefa que exige da equipe responsável, além de conhecimento do modelo, experiência nas áreas de planejamento e obras.

Algumas definições e princípios, listados a seguir, foram utilizados no SGP-DNER e devem ser lembrados no momento de serem estabelecidas as estratégias de manutenção:

1. O HDM-MAN analisa, em cada rodada, cinco estratégias de manutenção para um único trecho.

SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS DO DNER
MATRIZ DE CÉLULAS - 1996

TIPO DE REVESTIMENTO		IRREGULARIDADE (IRI) & DEFLEXÃO (D) TMD	IRI < 2,5		2,5 < IRI < 4		4 < IRI < 5,5		IRI . 5,5	
			D < 0,4 A	D > 0,4 B	D < 0,4 C	D > 0,4 D	D < 0,4 E	D > 0,4 F	D < 0,4 G	D > 0,4 H
CONCRETO ASFÁLTICO C	1	< 1.000	1							
	2	1.000 – 2.000								
	3	2.000 – 3.000				C3D				
	4	3.000 – 4.000								
	5	4.000 – 5.000								
	6	> 5.000								
TRATAMENTO SUPERFICIAL T	1	< 1.000								
	2	1.000 – 2.000								
	3	> 2.000								72

Figura 3.4.1-1

SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS DO DNER
MATRIZ DE CÉLULAS – 1985/1990

	TMD	< 1000			1000 - 3000			3000 - 5000			> 5000		
QI	DEFLEXÃO TRINCA	< 50	50-80	>80	< 50	50-80	>80	< 50	50-80	>80	< 50	50-80	>80
< 40	< 20	1											
	20 - 40												
	> 40												
40-60	< 20												
	20 - 40												
	> 40												
> 60	< 20												
	20 - 40												
	> 40												108

Figura 3.4.1-2

**SISTEMA GERENCIAL DE PAVIMENTOS DO DNER
MATRIZ DE CÉLULAS - 1994**

TIPO DE SUPERFÍCIE		CONDIÇÃO	BOM		REGULAR		MAU	
		TMD	D < 0,6 mm A	D > 0.6 mm B	D < 0,6 mm C	D > 0.6 mm D	D < 0,6 mm E	D > 0.6 mm F
C O N C R E T O	C1	< 1.000	C1A	C1B	C1C	C1D	C1E	C1F
	C2	1.000 – 2.000	C2A	C2B	C2C	C2D	C2E	C2F
	C3	2.000 – 5.000	C3A	C3B	C3C	C3D	C3E	C3F
	C4	> 5.000	C4A	C4B	C4C	C4D	C4E	C4F
TRATAMENTO SUPERFICIAL	T1	< 1.000	T1A	T1B	T1C	T1D	T1E	T1F
	T2	1.000 – 2.000	T2A	T2B	T2C	T2D	T2E	T2F

Figura 3.4.1-3

-
2. A primeira estratégia deve ser considerada como “estratégia-base”, com a qual cada uma das demais será comparada para efeito de serem quantificados os benefícios.
 3. Cada estratégia de manutenção é formada por uma ou mais políticas de manutenção.
 4. As políticas de manutenção podem ser de dois tipos: as de *resposta à condição* e as *programadas*.
 5. Nas políticas de resposta à condição, determinada operação de manutenção ou restauração será executada quando o trecho em análise atingir uma condição de deterioração pré-estabelecida. Ex. Recapear com 5 cm de CA quando IRI ultrapassar o valor 4.
 6. Nas políticas programadas, determina-se que o modelo execute uma operação de manutenção em ano pré-estabelecido. Ex. Recapear com 5 cm de CA no ano 2006
 7. As operações de manutenção devem ser aquelas normalmente empregadas pelo setor de obras do órgão rodoviário.
 8. Para trechos em bom estado de conservação, normalmente são avaliadas políticas de resposta à condição. As equações de desempenho do modelo simularão a deterioração do trecho e a operação de manutenção será executada no ano em que a condição de deterioração ultrapassar o valor pré-estabelecido. Outra possibilidade para trechos em bom estado é utilizar uma política programada para longo prazo, de forma a não comprometer o orçamento dos primeiros anos de análise.
 9. Para trechos em estado de regular a péssimo, normalmente testam-se diferentes políticas programadas, para execução imediata ou nos primeiros anos da análise.
 10. As operações de conservação rotineira e tapa-buracos normalmente estão presentes nas cinco estratégias. Na estratégia-base, constituirão uma política que será executada em todo o período de análise. Nas demais estratégias, estarão presentes nos anos em que não forem executadas outras políticas de manutenção ou restauração.
 11. É aconselhável que a política programada, após sua execução, seja seguida por uma política de resposta à condição, dentro da mesma estratégia.

Exemplificando o que foi dito até aqui, uma estratégia para um trecho em mau estado poderia ser a restauração com recapeamento de 8 cm no ano 1 do período da avaliação (política programada), após o que seria executado um recapeamento de 5 cm sempre que a irregularidade QI atingisse o valor 55 (política de resposta à condição). Essas duas políticas, complementadas por conserva rotineira e 100% de tapa-buracos no

restante do período, formariam uma estratégia de manutenção. Para compor a rodada do HDM-MAN, mais três estratégias idênticas seriam avaliadas para o mesmo trecho, agora adotando-se os anos 3, 5 e 7 para a intervenção programada. Desta forma, as políticas seriam também avaliadas para o caso de se adiar a intervenção no trecho por insuficiência de recursos. Finalmente, a quinta estratégia para a rodada seria a estratégia-base, de comparação com as demais, composta apenas pelas políticas de conservação rotineira e 100% de tapa-buracos.

Para o mesmo trecho em mau estado, poderá ser avaliado um outro conjunto de cinco estratégias, adotando-se como primeira intervenção uma solução de maior ou de menor custo. Desta forma, um amplo leque de alternativas pode ser avaliado para um mesmo trecho (ou célula), variando-se a solução de restauração imediata (política programada) e o ano de sua execução.

3.4.3 - AS ESTRATÉGIAS DA ETAPA 1995/1996 DO SGP-DNER

A última etapa do SGP-DNER utilizou a relação de operações de manutenção, identificadas por seus códigos, apresentada na tabela 3.4.3-1 a seguir. Já a matriz da figura 3.4.3-2 mostra, através dos códigos, os grupos de estratégias de manutenção que foram avaliadas para cada uma das 72 células. Aqui deve-se observar que, embora a estratégia de manutenção receba o mesmo código da operação de manutenção, na realidade a estratégia completa é composta pela política programada (operação em determinado ano) que deu origem ao código, pela política de resposta à condição quando $IRI > 4$ e ainda pelas operações de 100 % de tapa-buracos e conserva rotineira. Assim, uma estratégia é formada por uma ou mais políticas, enquanto uma política pode ser uma operação de manutenção realizada em determinado ano pré-estabelecido ou uma operação realizada em resposta a determinada condição.

Tomando-se o exemplo da célula C4E, destacada na figura 3.4.3-3 juntamente com as estratégias de manutenção utilizadas para esta célula, ter-se-á uma melhor idéia de como foram montadas as estratégias para a rede federal pavimentada. O primeiro grupo de estratégias avaliado para a célula C4E, denominado O4, corresponde a um recapeamento de 4 cm com concreto asfáltico, testado para os anos 1, 3, 5 e 7, sempre seguido por um recapeamento de 5 cm quando $IRI > 4$. Tem-se desta forma quatro estratégias que, completadas pela estratégia-base, serão avaliadas numa única rodada do HDM-MAN. Para a mesma célula foram realizadas as rodadas representadas pelos códigos O5 e O6, com cinco estratégias cada, nas quais foram testadas espessuras de recapeamento de 5 e 6 cm para os mesmos anos, mantendo-se as demais operações do primeiro grupo.

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA REDE RODOVIÁRIA FEDERAL
DNER
OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO - 1996

CÓDIGO DA OPERAÇÃO	TIPO DE OPERAÇÃO NA PISTA	ESPESSURA (cm)	REVESTIMENTO DO ACOSTAMENTO
TS	Lama ou Tratamento Simples	1,2	-
TD	Tratamento Duplo	2,5	-
O3	Recapeamento CBUQ	3,0	TSD
O4	Recapeamento CBUQ	4,0	TSD
O5	Recapeamento CBUQ	5,0	TSD
O6	Recapeamento CBUQ	6,0	TSD
O7	Recapeamento CBUQ	7,0	TSD
O8	Recapeamento CBUQ	8,0	TSD
AO	Recapeamento CBUQ	10,0	TSD
OB	Recapeamento CBUQ	12,0	TSD
G4	Recuperação CBUQ	4,0	TSD
G5	Recuperação CBUQ	5,0	TSD
G6	Recuperação CBUQ	6,0	TSD
G7	Recuperação CBUQ	7,0	TSD
G8	Recuperação CBUQ	8,0	TSD
GA	Recuperação CBUQ	10,0	TSD
A5	Recapeamento CBUQ	5,0	CBUQ
A6	Recapeamento CBUQ	6,0	CBUQ
A8	Recapeamento CBUQ	8,0	CBUQ
AA	Recapeamento CBUQ	10,0	CBUQ
AC	Recapeamento CBUQ	12,0	CBUQ
B5	Recuperação CBUQ	5,0	CBUQ
B6	Recuperação CBUQ	6,0	CBUQ
B8	Recuperação CBUQ	8,0	CBUQ
BA	Recuperação CBUQ	10,0	CBUQ
BC	Recuperação CBUQ	12,0	CBUQ
RT	Reconstrução TSD	2,5	TSS
R5	Reconstrução CBUQ	5,0	TSD
R8	Reconstrução CBUQ	8,0	CBUQ
RA	Reconstrução CBUQ	10,0	CBUQ

Figura 3.4.3-1

MATRIZ DE CÉLULAS – 1996
GRUPOS DE ESTRATÉGIAS AVALIADAS

		A	B	C	D	E	F	G	H
C	1	O5	O5	O3 O4 O5	O3 O4 O5	O3 O4 O5	O3 O4 O5	G5 G6 G7	G5 G6 G7
	2	O5	O5	O3 O4 O5	O3 O4 O5	O3 O4 O5	O3 O4 O5	G5 G6 G7	G5 G6 G7
	3	O5	O5	O3 O4 O5	O3 O4 O5	O4 O5 O6	O4 O5 O6	G6 G7 G8	G6 G7 G8
	4	O5	O5	O4 O5 O6	O4 O5 O6	O4 O5 O6	O4 O5 O6	G6 G7 G8	G6 G7 G8
	5	O5	O5	A5 A6 A8	A5 A6 A8	A5 A6 A8	A5 A6 A8	A5 A6 A8	B6 B8 BA
	6	O5	O5	A5 A6 A8	A5 A6 A8	A5 A6 A8	A5 A6 A8	A5 A6 A8	B8 BA BC
T	1	TS TD	TS TD	TS TD	TS TD	TS TD	TS TD	RT O5	RT O5
	2	TS TD	TS TD	O3 O4	O3 O4	O4 O5 O6	O4 O5 O6	R5 O8	R5 O8
	3	TD O5	TD O5	O3 O4 O5	O3 O4 O5	O4 O5 O6	O4 O5 O6	R8 R5 OA	R8 R5 OA

Figura 3.4.3-2

CÉLULA C4E

O4 O5 06

O4 ESTRATÉGIA 1 – BASE
 ESTRATÉGIA 2 – RECAP CBUQ 4 cm ANO1 RECAP
 ESTRATÉGIA 3 – “ “ ANO2 + CBUQ
 ESTRATÉGIA 4 - “ “ ANO3 5 cm
 ESTRATÉGIA 5 - “ “ ANO4 IRI=4

O5 ESTRATÉGIA 1 – BASE
 ESTRATÉGIA 2 – RECAP CBUQ 5 cm ANO1 RECAP
 ESTRATÉGIA 3 – “ “ ANO2 + CBUQ
 ESTRATÉGIA 4 - “ “ ANO3 5 cm
 ESTRATÉGIA 5 - “ “ ANO4 IRI=4

O6 ESTRATÉGIA 1 – BASE
 ESTRATÉGIA 2 – RECAP CBUQ 6 cm ANO1 RECAP
 ESTRATÉGIA 3 – “ “ ANO2 + CBUQ
 ESTRATÉGIA 4 - “ “ ANO3 5 cm
 ESTRATÉGIA 5 - “ “ ANO4 IRI=4

Figura 3.4.3-3

Voltando-se à matriz da figura 3.4.3-2, verifica-se que todas as células do tipo C, D, E, F, G e H, com revestimento em concreto asfáltico, foram avaliadas através de três rodadas de cinco estratégias cada, o que significa a avaliação de 13 diferentes alternativas de manutenção para cada célula, já que a estratégia-base é a mesma nas três rodadas. Já as células do tipo A e B, em boas condições de conservação, foram avaliadas através de uma única rodada, na qual foi testado para anos futuros (5, 7, 9 e 11) somente o recapeamento com 5 cm de espessura.

Observe-se que para as células do tipo A e B, em melhores condições de conservação, ao invés de se avaliar políticas de resposta à condição, como seria recomendado, o SGP-DNER preferiu adotar sempre como primeira intervenção uma política programada ativada apenas nos anos 5, 7, 9, ou 11, de forma a não possibilitar o comprometimento de recursos nos primeiros quatro anos com trechos considerados em bom estado.

3.4.4 - PRINCIPAIS RESULTADOS

Como foi visto, para cada célula da matriz da figura 3.4.1-1, o HDM-MAN avaliou diversas estratégias de manutenção, sendo que para cada par célula-estratégia o modelo apresenta em seus relatórios de saída valores que exprimem, por exemplo, a previsão de progressão da irregularidade durante o período de análise, os recursos necessários para implementar a estratégia no período e os benefícios econômicos para a sociedade daí decorrentes. A tabela 3.4.4-1 da página seguinte constitui um dos principais relatórios de saída do HDM-MAN, onde são apresentados para cada estratégia:

- Valor presente do custo total de transportes para a sociedade (*society*);
- Valor presente do custo de implementar a estratégia para o órgão rodoviário (*agency*), subdividido em custo de capital e corrente (*capital e recurrent*);
- Valor presente do custo para os usuários (*road users*), subdividido em custo de operação e de tempo de viagem (*vehicle operation e travel time*);
- Valor presente de custos e benefícios exógenos, não utilizados pelo SGP-DNER;
- Valor presente do benefício líquido (*net present value*);
- A taxa interna de retorno (*rate of return*), expressa em porcentagem.

Observe-se que a primeira estratégia é a estratégia-base, com a qual as demais serão comparadas, razão pela qual ela sempre aparece com valor zero para o benefício líquido e taxa de retorno não avaliada.

HDM-MANAGER PRINCIPAL RELATÓRIO DE SAÍDA

HDM Manager - Economic Analysis
Run Name REDE - Malha Rodoviária Exper.
Run Date 14/05/97

Road Name: R343 - CASTRO-TIBAGI

Present Values at 12.0% Discount Rate (million Reais)

	First Strategy	Second Strategy	Third Strategy	Fourth Strategy	Fifth Strat
SOCIETY	73.22	70.80	71.57	72.68	71
<u>Agency</u>	0.69	1.83	1.27	1.02	1
Capital	0.00	1.16	0.59	0.33	0
Recurrent	0.69	0.66	0.68	0.69	0
<u>Road Users</u>	72.53	-68.97	70.30	71.66	70
Vehicle Operation	66.25	62.78	64.08	65.40	64
Travel Time	6.28	6.19	6.22	6.25	6
<u>Exogenous Cst-Bnf</u>	0.00	0.00	0.00	0.00	0
NET PRESENT VALUE	0.00	2.43	1.66	0.54	1
RATE OF RETURN (%)	NA	35.6	59.8	74.1	4
First Strategy:	BASE DE COMPARACAO				
Second Strategy:	R514	BASE+RECAPE DE 5CM IRI=4			
Third Strategy:	R5I5	BASE+RECAPE DE 5CM IRI=5			
Fourth Strategy:	R516	BASE+RECAPE DE 5CM IRI=6			
Fifth Strategy:	R715	BASE+ RECAPE DE 7CM IRI=5			

Tabela 3.4.4-1

Normalmente, não havendo restrição de recursos, utiliza-se como estratégia ótima para cada célula aquela de maior benefício líquido. No entanto, no caso de análise da rede federal pavimentada, o SGP-DNER defronta-se com o problema da insuficiência de recursos, sendo necessário determinar a melhor estratégia possível para cada célula levando-se em conta os recursos disponíveis. Ou seja, qual o conjunto de estratégias a ser adotado que maximiza os benefícios para a sociedade mas cujo custo total não ultrapasse os recursos disponíveis. Esta otimização consegue-se com a aplicação do EBM – Expenditure Budgetary Model – Modelo de Planejamento Orçamentário.

3.4.5 - O MODELO EBM

Obviamente, os recursos orçamentários disponíveis não permitirão que se adote a melhor estratégia de manutenção, definida pelo HDM, para cada célula representativa da rede rodoviária. Assim, o objetivo do Expenditure Budgetary Model – EBM consiste em selecionar, dentre todas as estratégias de manutenção viáveis avaliadas pelo HDM-MAN, o conjunto de soluções para a rede rodoviária que, compatível com um orçamento restrito, minimiza o custo total de transportes. O modelo tem como dados de entrada:

- custo de cada estratégia de manutenção avaliada para cada célula representativa da rede;
- benefício líquido de cada estratégia;
- montante dos recursos disponíveis.

Na etapa 95/96 do SGP-DNER, foram avaliados com o EBM sete cenários com decrescentes níveis de recursos. Assim, aos cenários A, B, C, D, E, F e G corresponderam os recursos disponíveis por ano nos montantes de 650, 600, 500, 400, 300, 200 e 150 milhões de reais, respectivamente, sendo que o cenário G, de 150 milhões de reais ao ano, correspondia, à época, em se manter o nível histórico de investimentos em manutenção na rede federal pavimentada.

O modelo EBM selecionou então o conjunto de estratégias de manutenção (uma estratégia para cada célula) cujos custos totalizados não ultrapassaram o montante de recursos disponíveis anualmente em cada cenário, mas que, ao mesmo tempo, maximizava o benefício líquido para a sociedade. Ou seja, cada uma das 72 células analisadas teve, em cada cenário, uma única estratégia de manutenção selecionada pelo EBM. Estas 72 estratégias proporcionariam, se adotadas em conjunto, a maximização dos benefícios para a sociedade, considerado o nível de recursos disponíveis naquele cenário.

Os pares de resultados (investimento total x benefício líquido) obtidos para os diversos cenários foram colocados num gráfico que permitiu a visualização do cenário ideal a ser adotado. Assim, no gráfico da figura 3.4.5-1 observa-se que, naquele estudo, foi selecionado o cenário D, que correspondia ao investimento de 400 milhões de dólares ao ano. Investimentos acima desse valor (cenários C, B e A) corresponderiam a pequenos acréscimos no valor presente líquido dos benefícios. Por outro lado, entre os cenários E e D, a inclinação da curva sugere que pequenos acréscimos nos investimentos ainda causariam considerável aumento nos benefícios para a sociedade.

A seleção do nível ideal de investimentos na recuperação da rede rodoviária, proporcionada pelo EBM, pode ser utilizada para convencimento das autoridades governamentais da necessidade de serem alocados recursos suficientes para o Setor. Como, por exemplo, indicando os benefícios que deixarão de ser auferidos pela sociedade se forem alocados apenas 150 milhões de dólares para a restauração rodoviária ao invés dos 400 milhões recomendados pelo estudo.

Caso consigamos em nosso País uma estabilidade de recursos para as atividades de manutenção rodoviária, através da instituição de um fundo vinculado, os modelos HDM/EBM serão utilizados para selecionar as melhores estratégias de manutenção para os recursos disponíveis no fundo.

3.5 – SURGE O HDM-IV

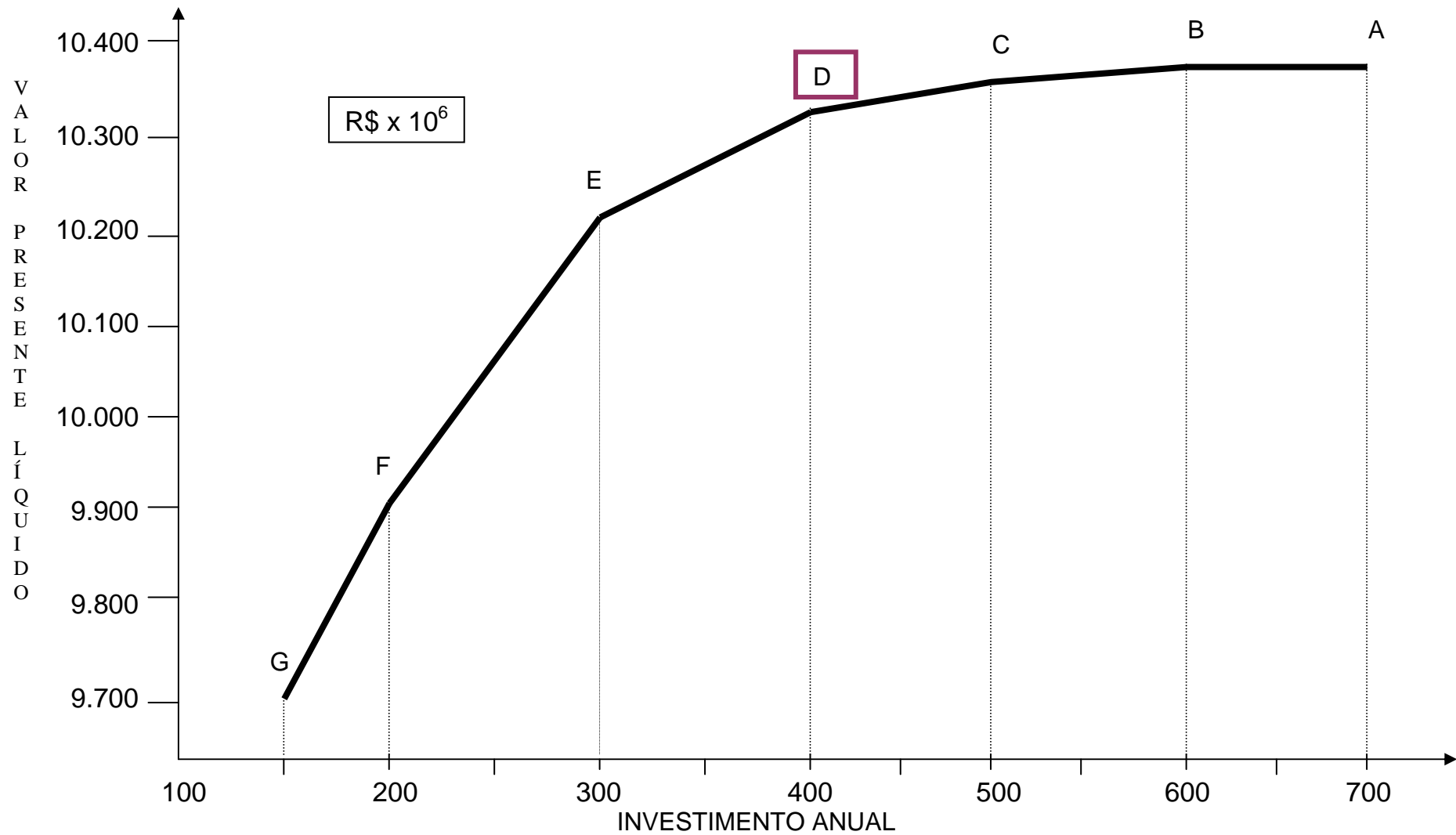
Durante longo período, o modelo HDM, em suas diversas versões, foi utilizado por inúmeros países para justificar a alocação de mais recursos para obras de construção e manutenção rodoviárias, bem como para verificar a viabilidade econômica de projetos rodoviários.

No entanto, já há algum tempo admite-se a necessidade de serem incorporados ao modelo outros tipos de pavimentos e condições de utilização. Também as novas técnicas na área de informática pressionava por uma atualização dos programas utilizados no HDM. Por outro lado, embora a maioria dos modelos de previsão de desempenho ainda permaneçam válidos, havia a necessidade de incorporar os resultados de pesquisas realizadas em todo o mundo, inclusive aquelas decorrentes do avanço tecnológico da indústria automobilística, com reflexos no custo operacional dos veículos.

Ainda que a maior utilização do modelo ocorresse nos países em desenvolvimento, nos últimos anos muitos países industrializados fizeram

AVALIAÇÃO DA REDE RODOVIÁRIA COM OS MODELOS HDM/EBM
GRÁFICO PARA ESCOLHA DO CENÁRIO IDEAL-1996

FIGURA 3.4.5-1



uso do HDM, o que induziu à necessidade de tornar o modelo mais abrangente, de forma a considerar:

- Efeitos do congestionamento de tráfego;
- Efeitos de climas mais rigorosos;
- Maior elenco de tipos e estruturas de pavimentos (inclusive pavimentos rígidos);
- Segurança rodoviária;
- Impactos no meio ambiente (consumo de energia, ruído do tráfego e emissão de poluentes).

Por tudo isso, desenvolveu-se o modelo HDM-IV, recentemente disponível para os usuários e que certamente será utilizado pelo Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER em sua próxima etapa.

Além de embutir modelos mais completos que atendem às exigências relacionadas, o HDM-IV amplia sua abrangência como instrumento de planejamento, ao considerar as fases que devem compor um sistema integrado de planejamento e gerenciamento rodoviário, quais sejam, o planejamento, a programação, a orçamentação e a execução. Para cada uma dessas fases oferece módulos de avaliação econômica de diferentes níveis de abrangência e de detalhamento. O quadro a seguir resume as diferentes opções de análise disponibilizadas pelo HDM-IV.

PROCESSOS DE GERENCIAMENTO DO HDM-IV

FASE	HORIZONTE	ABRANGÊNCIA	COLETA DE DADOS	ANÁLISE HDM-IV
Planejamento	Longo prazo	Toda a rede	Abrangente	Estratégia
Programação	Médio prazo	Rede/Sub-redes	↓	Programa
Orçamentação	Anual	Trechos	↓	Projeto
Execução	Imediata	Subtrechos	Precisa	-

Fonte: HDM-IV – Volume 1

4 – A PROGRAMAÇÃO DOS INVESTIMENTOS

4 – A PROGRAMAÇÃO DOS INVESTIMENTOS

A terceira, e em teoria, a menos complexa atividade específica de um SGP, qual seja, a elaboração de um programa plurianual de investimentos, deveria justificar todos os esforços para a coleta das informações e para a aplicação dos modelos descritos. Na realidade, o programa plurianual de investimentos deve ter como principal subsídio o resultado da avaliação econômica empreendida e constitui o produto final mais importante de um sistema gerencial de pavimentos.

No entanto, no caso do DNER e, com certeza, de muitos órgãos rodoviários estaduais, a imprevisibilidade, a irregularidade e a escassez do fluxo de recursos para a manutenção rodoviária têm sido um sério impedimento para que sejam elaborados programas plurianuais de forma sistemática e de aplicação confiável. Recursos escassos e irregulares conduzem a obras realizadas tardiamente, a obras paralisadas e a obras que se eternizam nas rodovias, todas muito mais dispendiosas. Consequentemente, invalidam de início qualquer processo de planejamento para aplicação racional dos recursos.

4.1 PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA A ELABORAÇÃO DO PROGRAMA PLURIANUAL DE INVESTIMENTOS

A ausência de um processo sistematizado de elaborar, controlar, avaliar e atualizar um programa de investimentos de médio prazo, perfeitamente integrado ao planejamento de longo e de curto prazos, constitui lacuna que invalida o próprio processo de planejamento rodoviário como um todo, acarretando dificuldades insuperáveis para a otimização dos investimentos no Setor.

Como a tarefa de elaboração de programas plurianuais de investimentos exige informações provenientes dos diversos escalões e setores técnicos do órgão rodoviário, torna-se fundamental a conscientização da administração superior do órgão das vantagens daí advindas.

Alguns princípios básicos devem ser seguidos para a elaboração de um programa de investimentos de médio prazo nas áreas de restauração e de manutenção. São eles:

1. A programação de estudos, projetos e obras deve ser integrada, de forma a não haver descontinuidade no processo decisório de execução das etapas de uma obra. Assim, elaborar projetos de

engenharia sem que haja capacidade financeira definida para proceder a execução da obra é prática inadequada, levando ao acúmulo de projetos que, principalmente no caso do programa de restauração, estarão rapidamente obsoletos.

2. A programação de investimentos para um determinado período deve ser desenvolvida considerando-se dois grupos de projetos: os obrigatórios e os recomendados. Como projetos de inclusão obrigatória na programação devem ser relacionados:

- Os projetos em andamento cujas metas físicas e/ou financeiras não são exeqüíveis até o início de vigência da programação;
- Os projetos já sob compromisso de execução por força de contratos ou convênios assinados;
- Os projetos a respeito dos quais já haja decisão política para inclusão na programação, tomada por autoridade competente.

Já os projetos recomendados serão aqueles selecionados pelo Sistema Gerencial de Pavimentos ou indicados por técnicos que atuam nos DRFs, e serão incluídos em cada exercício do período da programação em função da disponibilidade de recursos, descontados os valores necessários para a execução dos projetos obrigatórios.

3. A elaboração do programa plurianual de investimentos para projetos e obras de manutenção rodoviária deve ser atribuída à mesma unidade do Órgão que tem a responsabilidade pelo Sistema Gerencial de Pavimentos, isto é, a unidade de planejamento.
4. A participação das unidades regionais (DRFs) é fundamental tanto no desenvolvimento do Sistema Gerencial de Pavimentos quanto na elaboração do programa plurianual de investimentos.
5. A elaboração do programa plurianual de investimentos exige que esteja disponível um eficiente sistema de informações, principalmente para os projetos obrigatórios.
6. O programa plurianual de investimentos deve ser objeto de permanente controle, avaliação e atualização, de forma a serem incorporadas ao programa as correções decorrentes das imperfeições do próprio processo de planejamento e das divergências entre a evolução prevista e a evolução real de projetos e obras.

Apresenta-se a seguir uma defesa do retorno dos recursos vinculados para o Setor Rodoviário, através da cobrança de um imposto sobre os combustíveis, de forma a que se tenha regularidade no fluxo de recursos para a manutenção e restauração das rodovias. Somente com recursos regulares estarão plenamente justificados a implantação e o desenvolvimento de um Sistema Gerencial de Pavimentos e a elaboração de um programa plurianual de investimentos, este subsidiado pelas indicações do SGP. Estariam desta forma estabelecidas as condições para se obter a melhor forma de aplicação dos recursos públicos nas rodovias, de forma a proporcionar os maiores benefícios possíveis para seus usuários e para o Governo.

4.2 - O FINANCIAMENTO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA E A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS NO DNER

O DNER desenvolveu e implantou, a partir de 1982, um Sistema Gerencial de Pavimentos cuja metodologia permite a avaliação econômica de diversas alternativas de manutenção para diferentes grupos de subtrechos homogêneos, buscando-se desta forma que os investimentos prioritários em manutenção correspondam às alternativas de maiores benefícios para a sociedade como um todo. No entanto, a imprevisibilidade e a descontinuidade dos fluxos de recursos para a manutenção da rede rodoviária federal, mais até do que a escassez dos recursos, rapidamente invalidam os resultados e as recomendações desses estudos técnico-econômicos.

Permanecendo sem solução o problema do financiamento da manutenção rodoviária, torna-se difícil avaliar as reais necessidades metodológicas e os níveis de detalhamento a serem adotados nos levantamentos de campo e nos estudos que envolvem a concepção de um Sistema Gerencial de Pavimentos. Pode-se mesmo dizer que tais estudos somente terão real aplicabilidade caso seja solucionado o problema do financiamento do setor rodoviário, através da instituição de um fundo com recursos vinculados para a manutenção e a operação rodoviárias.

Esse tipo de fundo é adotado como solução para financiamento da manutenção das rodovias em grande parte do mundo desenvolvido e também em países em desenvolvimento. A concessão de rodovias à iniciativa privada, como tentativa para solucionar o problema de financiamento da manutenção rodoviária, é adotada apenas pela Argentina. Nos demais países, a concessão e/ou o pedágio são adotados exclusivamente em auto-estradas e em rodovias especiais. Nos Estados Unidos, a arrecadação com pedágio corresponde a aproximadamente 4%

do total investido em rodovias. Na França, a rede “pedagiada” corresponde a cerca de 1% da rede pavimentada.

Como vantagens decorrentes da existência de recursos vinculados para a manutenção rodoviária podem ser citadas:

- **O fundo atende à totalidade da rede rodoviária do País onde é adotado.**
- **O fundo incentiva a livre iniciativa e a competição entre empresas de consultoria e de construção civil pois, a longo prazo, inúmeras empresas terão a oportunidade de prestar serviços num determinado trecho rodoviário.**
- **O fundo permite uma atuação mais eficiente por parte do órgão público fiscalizador, uma vez que os recursos são liberados para a empresa que executa os serviços de manutenção à medida em que os serviços são executados e avaliados.**
- **O fundo não requer gastos para sua cobrança; praticamente a totalidade dos recursos provenientes do imposto sobre combustíveis será destinado à aplicação na rodovia.**
- **A instituição de um tributo incidente sobre o preço dos combustíveis é a forma mais eficiente, mais justa e mais econômica de se cobrar pelo uso das rodovias.**

Persiste, no entanto, o argumento de que a instituição de um fundo para manutenção rodoviária justificaria a criação de fundos similares para outros setores da economia. Em outras palavras: Que características especiais teria a atividade de manutenção rodoviária para ser privilegiada com a criação de um fundo específico? A resposta a esta questão mereceria, sem dúvida, um aprofundamento maior. No entanto, nos três tópicos a seguir, procura-se, de forma resumida, apresentar razões inequívocas para a instituição do fundo para financiar a manutenção de rodovias.

- 1. Os bens e serviços gerados pela economia do País embutem, em seus preços finais, parcela destinada à manutenção da infra-estrutura instalada para sua produção e/ou distribuição. Da mesma forma comportam-se diversos setores da economia, até recentemente gerenciados por órgãos públicos, como a energia elétrica, as fontes de energia oriundas do petróleo, as telecomunicações, o transporte ferroviário, etc.. O transporte rodoviário constitui hoje uma exceção. As instalações**

rodoviárias não concedidas à iniciativa privada são oferecidas graciosamente, sem que qualquer taxa ou imposto incidente sobre veículos, fretes, combustíveis, operação rodoviária, etc., reverta necessariamente para a sua manutenção. No entanto, considerados os três níveis jurisdicionais, estimativas apontam para uma geração de recursos fiscais, oriundos desse tipo de imposto, da ordem de US\$ 15 bilhões anuais¹, quantia em muito superior às necessidades globais de investimentos rodoviários no País. A instituição de um imposto ou taxa sobre combustíveis, que reverta exclusivamente para a manutenção rodoviária, seria portanto a única forma viável e justa de se cobrar do usuário das rodovias uma parcela destinada à manutenção da infra-estrutura instalada.

2. As obras de manutenção e de restauração rodoviárias apresentam um momento ideal para sua realização. O adiamento dessas obras e a consequente degradação das condições das rodovias trazem como resultado intervenções tardias de muito maior custo que, aliadas ao progressivo aumento do custo operacional dos veículos, redundam em enormes prejuízos para o País. Modelos de avaliação econômica acoplados a modelos de previsão de deterioração das rodovias permitem hoje, com relativa facilidade, quantificar tais prejuízos. Entretanto, esse momento ideal para realização de obras na rodovia acontece muito antes da época em que a rodovia apresenta sensíveis condições de desconforto para o usuário, ou seja, no momento ideal para a intervenção o usuário ainda não reclama por ela. Os recursos para manutenção rodoviária não devem portanto depender de dotações orçamentárias e sim, devem ser oriundos de receita auferida pelo próprio setor, já que os Poderes Legislativo e Executivo não serão sensibilizados para os investimentos de vulto exigidos por obras de manutenção rodoviária, se a própria sociedade ainda não reclama por esses investimentos.
3. A determinação das prioridades de investimentos em manutenção rodoviária deve ser oriunda de avaliação econômica que defina, em função dos recursos disponíveis, a melhor alternativa de manutenção para cada trecho da malha rodoviária. Ou seja, os recursos disponíveis devem ser otimizados, de forma a produzir os maiores benefícios para a sociedade. Não é preciso dizer que, face aos elevados custos

¹ O Sistema Rodoviário Nacional - Visão Global e Perspectivas - DNER-1990

das obras rodoviárias, a aplicação de recursos sem um planejamento adequado traz vultosos prejuízos para a Nação. Por outro lado, esse tipo de avaliação econômica só será possível se considerada a totalidade da rede rodoviária e se houver um mínimo de acerto na previsão dos recursos que estarão disponíveis a médio prazo (de três a cinco anos). Ora, as duas condições induzem a que se tenha um fundo específico para a manutenção rodoviária, porquanto a imprevisibilidade, a descontinuidade e a escassez dos recursos oriundos de dotações orçamentárias, como já foi dito, têm se apresentado como os maiores obstáculos a qualquer tipo de planejamento. Também a implantação de pedágios pouco criteriosa, com o único objetivo de se obter recursos, impossibilita a avaliação econômica da rede rodoviária como um todo, transformando as rodovias “pedagiadas” em entidades egoístas que arrecadam diretamente dos usuários, o que não contribui, certamente, para a otimização dos recursos investidos no setor.

Concluindo, dir-se-ia que o Brasil, no estágio em que se encontra, pode seguir três modelos alternativos para financiamento da manutenção rodoviária:

- Manter o setor dependente de dotações orçamentárias, como praticamente se fez nos últimos vinte anos, com conseqüências desastrosas para a infra-estrutura do sistema de transporte rodoviário e enormes prejuízos decorrentes da elevação do custo das obras, do custo operacional dos veículos e do índice de acidentes.
- Seguir o modelo argentino, que pretendeu dar solução ao problema concedendo à iniciativa privada e “pedagiando” parte significativa da malha rodoviária existente. Como que corroborando com os argumentos deste documento, as autoridades responsáveis pelo setor rodoviário na Argentina tentam, hoje, instituir um fundo para a manutenção rodoviária. No Brasil, o pedagiamento já excessivo tem causado problemas junto aos transportadores de cargas e onerado os fretes.
- Seguir o modelo adotado com sucesso em diversos países do mundo desenvolvido, em que basicamente as receitas necessárias à manutenção rodoviária são oriundas de fundo específico, constituído por recursos arrecadados através da instituição de tributo sobre os combustíveis ofertados para o

transporte rodoviário. O poder público, após o adequado planejamento para a aplicação desses recursos, procede à contratação das obras de manutenção necessárias, junto à iniciativa privada. Nesse modelo, as concessões e a cobrança de pedágios teriam participação importante nas obras de construção e de aumento de capacidade de rodovias de características especiais, com altos volumes de tráfego e que prestam serviços de alto nível.

5. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- LEE, Hosin e HUDSON, W.R. “*Reorganizing The PMS Concept*” – 1985
- ARCHONDO, Rodrigo Callado – “*Brazil Federal Highway Network – A Study To Define Rehabilitation Programs and Priorities*” – 1995
- ARCHONDO, Rodrigo Callado – “*HDM – 95*” Vols II e III – 1995
- QUEIROZ, César A.V. – “*O Modelo HDM – III*” – Memo. Téc. IPR 001/86 de 10/03/86
- QUEIROZ, César A. V., MAGALHÃES, João Pessoa, COELHO, Paulo S. M. “*O Estado da Arte da Gerência de Pavimentos no Brasil – XV Congresso Pan-Americano de Rodovias*” – IPR/DNER - 1986
- COELHO, Paulo S.M. – “*Interpretação do Comportamento do Índice de Suficiência*”. Memo. Téc. CPGP-07/87 de 27/04/87
- COELHO, Paulo S.M. – “*Aperfeiçoamento do Índice de Suficiência Empírico Para Seleção de Trechos Rodoviários Para Restauração*” Memo Téc. CPGP – 02/87 de 28/01/87
- VISCONTI, Tobias S. – “*Plano de Trabalho Para Prosseguimento das Atividades do SGP/DNER*” – DAT/IPR/DNER - 1995
- VISCONTI, Tobias S., ROGÉRIO, Julio R. De Souza, BITTENCOURT NETO, Avelino José – “*Sistemática Para*

*Elaboração de Programas Plurianuais de Investimentos” - DPP/
Dr.P/ DNER – 1977*

- *Curso de Sistema de Gerência de Pavimentos – Apostila – IPR/DNER – 1996*
- *“Sistema Gerencial de Pavimentos – Normas e Instruções” – CPGP – DNER – 1986*
- *“Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER – Instruções para os Levantamentos de Campo” – Divisão de Apoio Tecnológico/IPR/DNER – 1994*
- *“Pavement Management Guide” – Roads and Transportation Association – Ottawa, Canada – 1977*
- DOMINGUES, Felipe A. Aranha – *“Medição de Irregularidade em Pavimentos” – USP - 1989*
- PEREIRA, Djalma R. A. M. – *“Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo-Resposta” – USP - 1989*
- HDM-4 – Volume 1 – *“Overview of HDM-4” – PIARC – 1999*

ANEXO 1 – INSTRUÇÕES PARA DIVISÃO DOS
TRECHOS UNITÁRIOS DO PNV EM
SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

ANEXO 2 – NORMA DNER-ES 128/83

ANEXO 3 – INSTRUÇÕES PARA CARACTERIZAÇÃO
DE SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS DE
RODOVIAS DO PNV

ANEXO 4 – INSTRUÇÕES PARA O LEVANTAMENTO
VISUAL CONTÍNUO

Nota

**“Os anexos, não digitalizados,
podem ser consultados na Divisão
de Apoio Tecnológico - IPR/DNIT
ou na Biblioteca do IPR/DNIT
Tel - (021) 2471-6565.”**