UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS DIFERENTES TIPOS DE VEÍCULOS NO CUSTO DE MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA NO RIO GRANDE DO SUL

Autor

Eduardo Michelucci Rodrigues

Porto Alegre, março de 2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS DIFERENTES TIPOS DE VEÍCULOS NO CUSTO DE MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA NO RIO GRANDE DO SUL

Autor
Eduardo Michelucci Rodrigues

Orientador
Prof. Luiz Afonso Dos Santos Senna, Ph.D. - UFRGS

Banca Examinadora

_____

_____

_____

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção com requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia modalidade Profissionalizante.

Porto Alegre, março de 2001

Esta dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

_____

Prof. Luiz Afonso Dos Santos Senna, Ph.D.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

_____

Profª. Helena Beatriz Cybis, Ph.D.
Coordenadora do Mestrado Profissionalizante

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. _____
PPGEP - UFRGS

_____

Prof. _____
PPGEP - UFRGS

_____

Prof. _____
PPGEP - UFRGS

Agradeço a todos que ao longo destes últimos dois anos me apoiaram colaborando com sugestões e orientação e que, com carinho e compreensão souberam entender os períodos de dedicação às tarefas que permitiram concluir esta tarefa.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS, x

LISTA DE ABREVIATURAS, xii

LISTA DE TABELAS, xiv

LISTA DE QUADROS, xv

LISTA DE FIGURAS, xvi

RESUMO, xvii

ABSTRACT, xviii

1 **CAPÍTULO 1**

1.1 INTRODUÇÃO, 1

1.2 JUSTIFICATIVA, 3

1.3 OBJETIVOS, 5

1.3.1 Objetivo Geral, 6

1.3.2 Objetivos Específicos, 6

1.4 ABRANGÊNCIA, 6

1.5 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO, 7

1.5.1 Metodologia e Desenvolvimento, 7

1.5.2 Alocação dos Custos, 8

1.5.3 Origem dos Dados, 8

1.5.4 Simulação do Uso do Pavimento, 8

1.5.5 Análise dos Resultados das Simulações, 9

1.5.6 Avaliação do Impacto dos Veículos, 9

1.5.7 Conclusões e Recomendações, 9

2 **CAPÍTULO 2**

2.1 INTRODUÇÃO, 10

2.2 DEFEITOS E PROBLEMAS NAS RODOVIAS, 12

2.2.1 Pavimentos Rodoviários, 12

2.2.2 Deterioração nos Pavimentos Flexíveis, 14

2.2.3 Âmbito de Ocorrência dos Problemas e Defeitos, 15

2.3 MODELOS DE PREVISÃO DE DETERIORAÇÃO, 17

2.4 MODELO HDM III, 18

2.4.1 Estrutura de Dados do HDM III, 19

2.4.2 Resultados Fornecidos Pelo HDM III, 20

3 **CAPÍTULO 3**

3.1 INTRODUÇÃO, 21

3.2 DEFINIÇÕES, 22

3.3 COMPOSIÇÃO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA, 24

3.4 ALOCAÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO, 26

3.5 METODOLOGIA DE ALOCAÇÃO DOS CUSTOS, 27

3.5.1 Alocação por Ocupação de Via, 28

3.5.2 Alocação por Capacidade de Degeneração da Via, 29

4 **CAPÍTULO 4**

4.1 INTRODUÇÃO, 33

4.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS RODOVIAS, 33

4.2.1 Largura da Pista de Rolamento, 33

4.2.2 Largura dos Acostamentos, 34

4.3 CARACTERÍSTICAS DE RELEVO DAS RODOVIAS, 34

4.3.1 Subidas Mais Descidas, 34

4.3.2 Curvatura Horizontal, 35

4.4 CARACTERÍSTICAS DO MEIO AMBIENTE, 36

4.4.1 Altitude, 36

4.4.2 Precipitação Pluviométrica, 36

4.5 CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO, 37

4.5.1 Revestimento, 37

4.5.2 Tipo de Base, 37

4.5.3 Espessura da Base, 38
4.5.4 Suporte do Subleito,38
4.5.5 Número Estrutural,39
4.5.6 Irregularidade Longitudinal, 39
4.5.7 Área Total Trincada, 39
4.5.8 Área Esburacada, 40
4.5.9 Área Desgastada, 40
4.5.10 Afundamento de Trilha, 40
4.5.11 Idade do Revestimento, 41

5 **CAPÍTULO 5**
5.1 INTRODUÇÃO, 42
5.2 CUSTOS DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA, 44
5.3 ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO, 45
5.3.1 Custos Estimados no MEET, 45
5.3.2 Custos Estimados no PECR, 45
5.3.3 Considerações Sobre os Valores do PECR, 52
5.3.4 Custos Estimados no STPR, 53
5.3.5 Resumo dos Custos das Operações de Conservação, 54
5.4 CUSTO UNITÁRIOS DA CONSERVAÇÃO DO PAVIMENTO, 55

6 **CAPÍTULO 6**
6.1 INTRODUÇÃO, 57
6.2 CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS DE CARGA, 57
6.3 CARACTERÍSTICAS DO FLUXO DE VEÍCULOS, 58
6.3.1 Pesquisa de Tráfego nas Rodovias, 59
6.3.2 Análise dos Dados, 60
6.4 OCUPAÇÃO DA VIA PELOS VEÍCULOS, 61
6.4.1 Fatores de Ocupação de Veículo e de Eixo, 61
6.5 IMPACTO DOS VEÍCULOS NO PAVIMENTO, 63
6.5.1 Peso dos Veículos de Carga, 63
6.5.2 Determinação dos Fatores de Eixo, 65
6.5.3 Comparação Entre os Fatores de Eixo, 66
6.5.4 Determinação dos Fatores de Veículo, 67

6.6 FATORES REPRESENTATIVOS DO TRÁFEGO, 69

6.6.1 Veículo Característico da Frota de Veículos Pesados, 69

7 CAPÍTULO 7

7.1 SIMULAÇÃO NO HDM III,73

7.1.1 Dados de Entrada, 73

7.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES, 76

7.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES, 78

7.3.1 Custo Fixo da Manutenção do Pavimento, 78

7.3.2 Custo Variável da Manutenção do Pavimento, 80

7.3.3 Custo Total da Manutenção do Pavimento, 80

8 CAPÍTULO 8

8.1 CUSTO TOTAL DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA, 83

8.1.1 Custo Fixo Básico - Operações Externas ao Pavimento, 83

8.1.2 Custo Fixo do Pavimento - Operações no Pavimento, 84

8.1.3 Custo Fixo Total de Manutenção, 85

8.2 CUSTO VARIÁVEL TOTAL DE MANUTENÇÃO, 85

8.3 CUSTO TOTAL DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA, 86

8.4 CUSTO FIXO POR EIXO EQUIVALENTE DE OCUPAÇÃO, 87

8.4.1 Número Total de Eixos Equivalentes de Ocupação, 88

8.4.2 Custo Fixo Por Eixos Equivalente de Ocupação, 90

8.5 CUSTO VARIÁVEL POR EIXO EQUIVALENTE DE CARGA, 90

8.5.1 Número Total de Eixos Equivalentes de Carga, 90

8.5.2 Custo Variável por Eixo Equivalente de Carga, 91

9 CAPÍTULO 9

9.1 CUSTO FIXO DE MANUTENÇÃO POR VEÍCULO, 93

9.2 CUSTO VARIÁVEL DE MANUTENÇÃO POR VEÍCULO, 95

9.3 RESPONSABILIDADE DOS VEÍCULOS NA MANUTENÇÃO, 98

9.4 COMPARAÇÃO ENTRE VEÍCULOS, 101

9.4.1 Comparação Entre o Automóvel e os Veículos Pesados, 101

9.4.2 Comparação Entre os Veículos Pesados, 103

9.4.3 Comparação Entre Veículos Com e Sem Sobrecarga, 104

9.5 ESTRUTURA TARIFÁRIA E DE ALOCAÇÃO DE CUSTOS, 105

9.5.1 Estrutura Tarifária do PECR, 105

9.5.2 Outras Estruturas Tarifárias e de Alocação de Custos, 106

9.5.3 Estrutura de Alocação Proposta, 106

9.5.4 Análise Comparativa das Estruturas, 107

10 **CAPÍTULO 10**

10.1 CONCLUSÕES, 109

10.2 RECOMENDAÇÕES, 112

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, 114

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	-	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCR	-	Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias
BDI	-	Bonificação e Despesas Indiretas
CBR	-	Índice de Suporte Califórnia
CBUQ	-	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CE	-	Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano
CONTRAN	-	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	-	Código de Trânsito Brasileiro
DAER	-	Departamento Estadual de Estradas de Rodagem
DER	-	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	-	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
FHCAS	-	Federal Highway Cost Allocation Study
HCM	-	Highway Capacity Manual
HDM	-	Highway Design and Maintenance Model
IRI	-	Índice Internacional de Irregularidade
LASTRAN	-	Laboratório de Sistemas de Transportes
LCPC	-	Laboratorie Centrales des Ponts et Chausses
MEET	-	Manual de Engenharia Econômica - Transportes
MIT	-	Massachusetts Institute of Tecnology
PECR	-	Programa Estadual de Concessões Rodoviárias
PMF	-	Pré-Misturado a Frio
RS	-	Estado de Rio Grande do Sul
SP	-	São Paulo
STPR	-	Seleção de Trechos Prioritário para Recuperação
TRRL	-	British Transport an Road Research Laboratory

TSD	-	Tratamento Superficial Duplo
UFRGS	-	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USA	-	United State of America
USDOT	-	United State Departament of Transportation
USP	-	Universidade de São Paulo
WB	-	World Bank

LISTA DE ABREVIATURAS

2C	-	Caminhão leve com dois eixos
3C	-	Caminhão médio com três eixos
2S2	-	Caminhão pesado com quatro eixos
2S3	-	Caminhão super-pesado com cinco eixos
Saxl	-	Carga de eixo padrão para cada tipo de eixo
Axl	-	Carga média no eixo
¢$	-	Centavos de dólar americano
CEA	-	Custo financeiro equivalente anual, corrigido para o iri_{ref}
CEA^0	-	Custo financeiro equivalente anual, determinado pelo hdm iii
CF_0	-	Custo fixo básico
CF_{pav}	-	Custo fixo do pavimento
CF_{ee}	-	Custo fixo para um eixo equivalente
CF_{veic}	-	Custo fixo para um veículo
CF	-	Custo fixo total
CTM	-	Custo total de manutenção
CT_{pav}	-	Custo total do pavimento
CTM_{veic}	-	Custo total para um veículo
CV_{pav}	-	Custo variável do pavimento
CV_{ee}	-	Custo variável para um eixo equivalente
CV_{veic}	-	Custo variável para um veículo
CV	-	Custo variável total
US$	-	Dólar americano
EPE	-	Eixo padrão equivalente
REC	-	Espessura da camada de recapeamento
FE*	-	Fator de eixo característicos da frota de veículos pesados

FE - Fator de eixo

ΔF - Fator de eixo

FOE* - Fator de ocupação de eixo característico da frota de veículos pesados

FOE - Fator de ocupação de eixo

FOV* - Fator de ocupação de veículo característicos da frota de veículos pesados

FOV - Fator de ocupação de veículo

FV* - Fator de veículo característicos da frota de veículos pesados

FV - Fator de veículo

IRI_{ref} - Índice de irregularidade longitudinal de referência

IRI_i - Índice de irregularidade longitudinal inicial

IRI_m - Índice de irregularidade longitudinal médio

IRI - Índice internacional de irregularidade

NE - Número de eixos

NE* - Número de eixos característicos da frota de veículos pesados

NEE_c - Número de eixos equivalentes de carga

NEE_o - Número de eixos equivalentes de ocupação

NVL - Número de veículos leves

NVP - Número de veículos pesados

Nest - Número estrutural do pavimento

PVP - Percentagem de veículos pesados

TMDA - Tráfego médio diário anual

veic/dia - Veículos por dia

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos médios de conservação, 45

Tabela 2 - Custos da terraplenagem, 49

Tabela 3 - Custos da pavimentação, 49

Tabela 4 - Custos da sinalização, 50

Tabela 5 - Custos da drenagem e obras de arte correntes, 50

Tabela 6 - Custos das obras de arte especiais, 51

Tabela 7 - Custos das obras e serviços complementares, 51

Tabela 8 - Custos médios anuais, 53

Tabela 9 - Custo unitário das operações, 54

Tabela 10 - Resumo dos custos das operações, 54

Tabela 11 - Resumo da pesquisa de tráfego do PECR RS, 60

Tabela 12 - Custo da manutenção do pavimento HDM III, 81

Tabela 12_{Cont} - Custo da manutenção do pavimento HDM III, 82

Tabela 13 - Número de eixos equivalentes de ocupação, 89

Tabela 14 - Número de eixos equivalentes de carga, 92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fator de ocupação de eixo, 63

Quadro 2 - Comparação entre os fatores de eixo, 67

Quadro 3 - Comparação entre os fatores de veículo, 69

Quadro 4 - Custo fixo de manutenção dos veículos, 94

Quadro 5 - Custo variável de manutenção dos veículos, 97

Quadro 6 - Custo total de manutenção dos veículos, 100

Quadro 7 - Custos da manutenção rodoviária, 110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Custo fixo de manutenção do pavimento × IRI_1 85

Figura 2 - Custo variável de manutenção × NÚM veículos pesados, 86

Figura 3 - Custo total de manutenção × NÚM veículos pesados, 87

Figura 4 - Custo fixo por eixo dos veículos × Volume de tráfego, 95

Figura 5 - Custo variável por eixo dos veículos × Volume de tráfego, 98

Figura 6 - Custo total de manutenção × NÚM de eixo de carga, 101

Figura 7 - Custo de manutenção eixo de carga × automóvel, 102

Figura 8 - Custos de manutenção caminhão × Caminhão 3C, 104

Figura 9 - Custo adicional devido a sobrecarga de 17% × NÚM de eixos de carga, 105

Figura 10 - Equivalência × Peso dos caminhões, 107

RESUMO

O presente trabalho permite avaliar, em valores monetários, o impacto, ou responsabilidade, dos diferentes tipos de veículos nos custos totais de manutenção das rodovias. O objetivo é alcançado através do desenvolvimento de um conjunto sistematizado de procedimentos que quantificam todos os custos, não só os impostos pelos veículos aos pavimentos, como também todos demais decorrentes da conservação dos demais elementos que constituem a rodovia.

O trabalho esta organizado numa estrutura que divide os custos envolvidos na manutenção rodoviária em dois grandes grupos, designados, de acordo com os conceitos econômicos, de custos fixos e custos variáveis. Dessa forma, os procedimentos desenvolvidos correlacionam o produto final de uma rodovia, as viagens realizadas pelos veículos, com os custos decorrentes de seu desgaste, dividindo-os em duas parcelas, uma que não se altera com o nível de uso, chamada parcela fixa, e outra, sensível ao nível de utilização da rodovia, chamada parcela variável.

A partir dessa divisão e com o emprego de fatores que relacionam os níveis de ocupação e degradação da via pelos veículos, são determinados os valores monetários que representam quanto cada um desses veículos deve ser responsabilizado nos custos totais necessários à manutenção rodoviária.

No desenvolvimento do trabalho foram utilizados os conceitos e definições das operações de conservação descritas nos manuais técnicos do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. Os dados referentes aos custos e às características das rodovias foram retirados de pesquisas realizadas no Estado do Rio Grande do Sul, e as deteriorações decorrentes do uso com seus respectivos custos foram obtidas através de simulações com o uso do Highway Design and Maintenance Model - HDM III.

ABSTRACT

The work is organized in a structure what splits up the overhead involved on road conservation in two groups, designated according to the economic concepts , of fixed costs and variables costs. The procedures developed link the ware end from a highway, the voyages it performs, the bristles vehicles, with the overhead current of its distress and erosion, divided in two parcels, one that does not alter with the level of the traffic, called fixed parcel, and another, sensible of the highway utilization level, called variable parcel.

From this division and allocating from the factors what relate the levels of occupation and degradation road from it saw bristles vehicles, the monetary values were stated to say how much of this vehicles must be charged on the necessary road maintenance total costs.

Into the development of the study the concepts and definitions from the operations of conservation related on the Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER, technical manuals have been used. The data concerning the costs and roads characteristics have been withdrawn from researches done in Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, and the deteriorations with its respective costs have been obtained from the HDM III simulations.

– CAPÍTULO 1 –

CONHECIMENTO DO TRABALHO

INTRODUÇÃO - JUSTIFICATIVA - OBJETIVO - ABRANGÊNCIA - ESTRUTURA

1.1 INTRODUÇÃO

É indiscutível a importância dos transportes no processo de desenvolvimento cultural, social e econômico de uma sociedade.

Dentre os meios de transportes, o rodoviário, por suas particularidades, assumiu expressiva importância em relação aos demais, exigindo, dessa maneira, intensos e contínuos recursos, tanto para a construção de novas vias, como para a conservação e manutenção das vias já existentes.

Os recursos necessários para a construção e manutenção da infra-estrutura viária, em geral, são alocados de três maneiras diferentes. Podem ser suportados pela sociedade como um todo, mediante impostos generalizados, onde os recursos se originam dos orçamentos públicos sem guardarem qualquer vinculação com os tributos arrecadados. Nessa situação, os usuários, ao trafegarem pelas vias, usufruem dos benefícios sem, entretanto, arcarem totalmente com os respectivos custos uma vez que estes são divididos por toda a coletividade, indiferentemente do uso ou não da via pelo contribuinte. Podem ser suportados de forma integral e direta pelos usuários, através de tarifas ou preços públicos, os chamados pedágios, e nesse caso se assemelha a um serviço público como água, energia elétrica ou telecomunicação, onde cada usuário paga pela quantia de serviço utilizada. Ou ainda, de uma forma combinada entre as modalidades anteriores, onde parte dos custos, geralmente os relativos à construção, são suportados por receitas tributárias e parte, relativa à manutenção, por cobrança direta dos usuários.

Independentemente da forma de gerenciamento e financiamento adotada para uma rodovia, seja ela pública ou privada, o importante é compreender que os custos inerentes à construção, à manutenção e à operação dessa rodovia sempre existem, e que eles devem ser corretamente avaliados e atribuídos de maneira equânime entre os que se beneficiam da via

garantindo equidade de participação, tanto nos benefícios, como nos custos, por parte de cada um.

Diante do acima exposto, resta a questão de quanto e como cada usuário deve pagar pela utilização das rodovias?

A resposta não é fácil nem imediata. Inúmeros pesquisadores e estudiosos do assunto em todo o mundo buscam ao longo das últimas décadas respostas que sejam satisfatórias e atendam as necessidades de alocação de recursos às infra-estruturas viárias, sejam elas públicas ou privadas.

No interessante estudo, "*Whose Roads?*", (LITMAN, 1995), é discutido se os ciclistas devem ou não pagar pelo uso das rodovias, uma vez que dos demais usuários é cobrado pedágio e deles não.

Em "*The Full Cost of Intercity Highway Transportation*", (LEVINSON & GUILLEN, 1997), os autores valem-se dos conceitos econômicos para a determinação dos custos, privados e sociais, envolvidos no transporte rodoviário, bem como, apresentam metodologia para a estimativa dos custos, médio e marginal.

Com a intenção de determinar o valor de cobrança para os veículos de carga brasileiros que trafegam pelas rodovias argentinas na rota Brasil-Chile, o estudo, "*Determinacion de la Justa Copensacion por Uso de Infraestructura Vial de Vehiculos en Transito Entre Brasil y Chile por el Itinerario Passo de los Libres - Tunel Internacional Cristo Redentor*", (GALMARINI et al, 1987), estima o valor da deterioração causada pelos veículos de carga no pavimento rodoviário, pressupondo, que toda a deterioração ocorra devido ao tráfego de caminhões.

Diversos outros estudos, como "*Colorado in Balance - Transportation and Infrastructure*", (POLHILL & MUELLER, 1997), "*Vehicle Size and Weight Regulations and Highway Infraestructure Management*", (FEKPE, 1995), "*Evaluting Criticism of Transportation Costing*", (LITMAN, 1999), "*An Investiment Analysis of the Kansas Highway System*", (SEMMENS & CALHOUN, 1999), e "*Pedágios - Possibilidade de Inovações?*", (LEITE, 2000), abordam de forma distinta os vários aspectos do tema, cujos resultados serviram de apoio para o desenvolvimento do presente trabalho.

Existe uma grande parcela de incerteza e variações nos resultados dos estudos que pretendem estimar os custos de manutenção rodoviária. Assim sendo, não é pretensão do

presente estudo efetuar tal tarefa, mas avaliar dados e apresentar valores monetários que correspondam à responsabilidade de cada tipo de veículo em tais custos de manutenção a partir de um conjunto de procedimentos aplicados aos dados técnicos das rodovias gaúchas.

Não se trata da determinação de valores de impostos, taxas, preços ou tarifas finais a serem aplicados aos usuários das rodovias, mas sim, uma contribuição aos procedimentos de quantificação de algumas das parcelas que compõem tais valores, os quais servem para estimar a responsabilidade, em valores monetários, de cada tipo de veículo na manutenção geral da via e na recuperação dos danos por eles causados ao pavimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil a infra-estrutura rodoviária, com raras exceções, foi implantada pelo poder público através de recursos oriundos do Fundo Rodoviário Nacional, formado a partir de imposto cobrado sobre os combustíveis — o que possibilitou uma grande expansão rodoviária nas décadas de 70 e 80. Atualmente parte desta infra-estrutura está sendo concedida à iniciativa privada como forma de garantir sua manutenção e melhoria, tendo como fonte de financiamento a cobrança de pedágio dos usuários.

Muita discussão sobre os critérios de fixação dos valores dos pedágios está acontecendo, mas poucas são as informações técnicas colocadas à disposição da sociedade com finalidade de auxiliar na solução dos impasses que sistematicamente se originam quando os interesses entram em choque. Citamos a título de referência o Estado do Rio Grande do Sul, cujo programa de concessões começou a ser estudado em 1996 e implantado a partir de 1998, onde ainda são encontradas profundas divergências entre os entes envolvidos, sendo eles usuários, concessionários e poder concedente.

Apesar de serem responsáveis somente por 1/3 dos preços ou tarifas cobrados, os gastos diretos na recuperação e manutenção do pavimento, conforme PECR (1997), representam cerca de 3/4 dos investimentos necessários nas rodovias. O restante das tarifas, os 2/3 remanescentes, são decorrentes das despesas com as demais operações de manutenção da rodovia, seguros, tributos e outros valores. Mesmo com esta participação menor na composição total dos preços e terifas, os gastos com o pavimento são geralmente responsabilizados pelos altos valores de tais preços.

Um fator muito importante a ser considerado, e que vem agindo como coadjuvante na sustentação aos programas de privatização, é que existe a disposição dos usuários de pagarem por uma via em boas condições. Esta tendência foi identificada no trabalho "*Avaliação do Impacto da Implantação de Concessões nas Rodovias do Rio Grande do Sul*" (LASTRAN, 1998). Esse trabalho, conforme a publicação "*Concessões de Rodovias no Rio Grande do Sul*" (ABCR, 1999), com base em metodologia apropriada, revelou não só a percepção do usuário em relação à qualidade das rodovias, mas também o quanto ele está disposto a pagar pelos serviços oferecidos.

Dentre os diversos veículos que trafegam pelas das rodovias, os que indiscutivelmente mais danos causam ao pavimento são os veículos pesados de transporte de carga ou passageiros, os caminhões e os ônibus. Isto se deve ao fato de que, por suas características de tamanho e peso, produzem acentuado desgaste e degeneração no pavimento. O estudo provém de diversas fontes incluindo o relatório "*FHWA - Federal Highway Cost Allocation Study, FHCAS*" (1997), onde é demonstrado que, dentre os custos totais impostos por veículos de carga em rodovias rurais cerca de 2/3 correspondem aos danos provocados no pavimento. Resultados semelhantes são encontrados em "*Efeitos Deletérios das Cargas de Tráfego nas Vias Urbanas*" (CASTRO, 1999), que retoma a questão demonstrado que o pavimento de uma via pode ter sua vida reduzida substancialmente em função do tráfego de veículos de carga, e em outros trabalhos como "*Colorado in Balance - Transportation and Infrastructure*" (POLHILL & MUELLER, 1997), onde os autores relatam que, para evitar um nível de deterioração precoce, os projetistas utilizam tráfego em até 12% superior ao previsto para o dimensionamento dos pavimentos.

Assim, sabendo-se,

- que o usuário está disposto a pagar pelo uso de boas rodovias,
- que o usuário prefere, acima de tudo, uma boa qualidade do pavimento,
- que os veículos pesados provocam a maior parcela da deterioração do pavimento,
- que mais de 75% dos investimentos necessários à reabilitação e manutenção das rodovias correspondem ao pavimento,
- que existem grandes divergências sobre os valores atualmente cobrados,

torna-se necessário um aprofundamento dos estudos, seja para uma mais precisa determinação da efetiva responsabilidade de cada tipo de veículo nos custos de manutenção rodoviária, seja

com a finalidade de, pelo menos, reduzir as divergências de opinião relativas ao cálculo dos preços praticados.

1.3 OBJETIVOS

A determinação do impacto, ou responsabilidade, dos veículos nos custos de manutenção tem sido efetuada com base em correspondência entre os diferentes tipos de veículos.

No Programa Estadual de Concessão de Rodovias, PECR (1997), do Estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, a estrutura tarifária se faz através das seguintes correspondências,

- automóvel - 1,0
- caminhão leve com 2 eixos - 1,7 automóveis,
- caminhão médio com 3 eixos - 2,5 automóveis,
- caminhão articulado pesado com 4 eixos - 3,3 automóveis,
- caminhão articulado super-pesado com 5 eixos - 4,2 automóveis,
- caminhão articulado super-pesado com 6 eixos - 5,0 automóveis.

Trata-se de uma estrutura tarifária com incremento fixo de 0,8 automóveis por eixo de carga dos caminhões, o que, conforme SEVERO (1999),

> *"... três problemas básicos comprometem a lógica da estrutura tarifária vigente:*
>
> *O Primeiro Problema - o maior ou menor dano proporcionado pela carga de um eixo, mede-se pela relação entre o dano proporcionado ao pavimento pela carga desse eixo e o dano correspondente, proporcionado pela carga do eixo padrão. Ocorre que a carga efetiva média por eixo, nos veículos com maior número de eixos - é menor do que a dos veículos com menor número de eixos (supondo ambos carregados a plena carga).*
>
> *O Segundo Problema - os custos ligados ao pavimento são apenas uma das parcelas a distribuir entre os usuários dos veículos, através da tarifa do pedágio. Outros custos, como os de operação, segurança, custos financeiros, e de administração, são de grande monta, e obedecem a outra lógica de formação.*

O Terceiro Problema - o dano se altera nos veículos parcialmente carregados e nos veículos vazios. "

indicando a falta de eqüidade nas tarifas de pedágio do PECR.

Assim, com a intenção de melhor conhecer a interdependência entre os diversos fatores em jogo e, buscar uma divisão mais equânime dos custos envolvidos, os objetivos deste estudo visam os objetivos abaixo especificados.

1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é de avaliar o impacto, ou responsabilidade, dos diferentes tipos de veículos nos custos de manutenção das rodovias.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são,

- produzir um conjunto sistematizado de procedimentos que possibilite a quantificação dos custos impostos aos pavimentos pelos diferentes tipos de veículos;
- possibilitar uma divisão mais equânime dos custos de manutenção das rodovias entre os diferentes tipos de veículos, de modo a auxiliar na fixação das tarifas e preços públicos;
- servir de apoio e embasamento, através da estimativa de valores referenciais de custos, às decisões de políticas de manutenção rodoviária.

1.4 ABRANGÊNCIA

O estado geral de deterioração de uma rodovia é quase que totalmente percebido pelo usuário por uma série de defeitos e danos visíveis que surgem especialmente na superfície de rolamento.

A vida útil de uma rodovia é condicionada a diferentes e complexos fatores que, interagindo de forma direta ou indireta, compõem cenários que ao longo do tempo interferem diretamente sobre a qualidade da via. Fatores que incluem premissas gerais de projeto, estimativas preliminares de volume e classificação do tráfego, qualidade dos materiais,

espessuras das diferentes camadas do pavimento, características reais do tráfego, condições de conservação e manutenção, condições do meio ambiente e níveis de sobrecarga e pressão dos pneus dos caminhões, são os que, ao longo do tempo, participam na determinação do grau de serventia do pavimento rodoviário e consecutivamente da qualidade da estrada.

Avaliar a responsabilidade de cada tipo de veículo nos custos da infra-estrutura é uma tarefa que depende da quantidade de fatores que participam na formação dos custos rodoviários, produzindo um cálculo de composição complexa e extensa.

No presente estudo serão analisados os custos relativos à manutenção dos elementos que com maior importância interferem na qualidade e durabilidade do pavimento. Também estão sendo considerados aqueles itens que participam diretamente na percepção da qualidade da rodovia como um todo, estando incluídos nas chamadas operações de conservação rotineiras e periódicas.

O trabalho abrange as rodovias do Estado do Rio Grande do Sul, cujas características médias são,

- pista simples com duas faixas de rolamento,
- acostamentos laterais,
- pavimento com revestimento asfáltico sobre base granular,
- localizada em região suavemente ondulada,
- submetida a fluxos médio de circulação de 800 a 7.800 veículos por dia,
- com fluxo entre 25 e 55% de veículos pesados.

1.5 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO

O trabalho está estruturado em dez capítulos que de forma organizada abordam os conteúdos necessários ao atendimento dos objetivos propostos.

1.5.1 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Sendo o objetivo amplo do trabalho a determinação da parcela de responsabilidade de cada tipo de veículo nos custos de manutenção rodoviária, é de fundamental importância proceder à estimativa do montante de recursos necessários à preservação do pavimento como também das demais operações de conservação que constituem a manutenção rodoviária ao

longo de um determinado período de tempo. Estes valores servirão de base para estimar a tarifa que compete aos veículos que utilizam a rodovia nesse período.

1.5.2 ALOCAÇÃO DOS CUSTOS

Para a efetivação da alocação pretendida duas situações básicas são assumidas. A primeira é relativa à capacidade destrutiva do veículo sobre o pavimento tendo em vista o impacto que cada eixo produz sobre a pista. A segunda situação é relativa à ocupação da via pelos veículos em circulação. As duas condições combinadas produzem os valores correspondentes à responsabilidade de cada um dos diferentes veículos nos custos decorrentes do uso.

São estimados os custos referentes às diversas operações que compõem a manutenção de uma rodovia, sendo os custos separados em três grupos em função do tipo e grau de vinculação com o pavimento. O primeiro grupo se refere a operações realizadas diretamente no pavimento em função de sua preservação, o segundo, às operações que não são realizadas diretamente no pavimento, mas essencial à sua conservação, e o terceiro, às operações realizadas em função da preservação das condições gerais de circulação da via sem vinculação direta com a qualidade do pavimento.

1.5.3 ORIGEM DOS DADOS

A partir de levantamentos efetuados em diversas rodovias gaúchas foram coletados e analisados os dados referentes aos custos gerais de manutenção, incluindo elementos de análise como as características físicas das vias e os respectivos fluxos de veículos e suas composições. Deste modo ficam estabelecidos os parâmetros gerais de um segmento de rodovia que representa o conjunto em suas características geométricas, de conservação e de tráfego equivalente, o qual é submetido a diversas simulações de condições de uso.

1.5.4 SIMULAÇÃO DO USO DO PAVIMENTO

A predições dos danos futuros no pavimento são feitas a partir de modelos que correlacionam os diferentes fatores envolvidos no processo de desgaste da rodovia, estabelecendo ao longo do tempo níveis gerais de deterioração no mesmo. Os modelos de deterioração utilizados são os do HDM III que, além de considerar os possíveis danos

causados à rodovia também fornece as estimativas dos serviços de recuperação necessários bem como os montantes de recursos envolvidos.

1.5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

De posse dos valores dos custos produzidos nas simulações com o HDM III os dados são organizados e analisados de forma a produzirem modelos teóricos que representam os parâmetros referenciais para a composição dos custos totais de manutenção em função do desgaste provocado pelos diversos tipos de eixos veiculares.

1.5.6 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS VEÍCULOS

A partir dos valores dos custos de manutenção dos eixos, estimados em virtude do desgaste proporcional que causam ao pavimento, são determinados os valores do custo de manutenção para cada tipo de veículo. Este cálculo é feito através do respectivo grau de impacto, ou responsabilidade, que cada um destes veículos representa para a manutenção da rodovia.

1.5.7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No final são apresentadas as conclusões decorrentes do desenvolvimento dos diversos grupos de assuntos, e que servirão para explicar e atender os objetivos propostos inicialmente.

– CAPÍTULO 2 –

DEGENERAÇÃO DAS RODOVIAS
ÂMBITO DAS OCORRÊNCIAS - PREVISÃO DA DETERIORAÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

Preliminarmente ao desenvolvimento deste estudo foram analisados relatórios técnicos que atribuem valores tarifários de utilização da rodovia sem que fossem identificados precisamente os procedimentos ou metodologia específica para definir técnica e criteriosamente os valores indicados.

Em "*Efeitos deletérios das Cargas de tráfego*" (CASTRO, 1999), o autor afirma que a totalidade dos danos nos pavimentos decorre exclusivamente da ação gradativa dos eixos pesados, analisando a relação de desgaste em termos específicos da redução de vida útil do pavimento. Esse fato se deve aos resultados dos experimentos realizados ao longo de 20 anos pela AASHTO (AASHTO apud CASTRO, 1999), tendo sido publicados no final da década de 1960. O estudo sugere que nos trechos experimentais que não foram submetidos à ação do tráfego não ocorreram defeitos, significando que o único fator destruidor do pavimento é a carga dos eixos dos veículos.

Contudo, estes resultados influenciam até hoje os técnicos do setor rodoviário, pois em PECR (1997), o cálculo dos valores a serem cobrados baseia-se quase que exclusivamente na capacidade de destruição de cada tipo de eixo. Em GALMARINI et al (1987), em SOUZA (1987) e em MAC DOWELL (1992), a avaliação da capacidade destrutiva do pavimento obedece o mesmo critério.

Em LEVINSON & GUILLEN (1997), em POLHILL & MUELLER (1997) e nos demais trabalhos já citados, os autores não abordam de modo detalhado os custos de manutenção dos pavimentos. Não são relacionados claramente os fatores incluídos no montante dos gastos atribuídos ao uso da vias em função das distâncias médias percorridas por cada tipo de veículo nem outros fatores que poderiam ser levados em consideração para obtenção de um cálculo tarifário mais equânime.

Fica assim implícito que os valores atribuídos ao custo de manutenção dos pavimentos são estimados de forma simples e direta através do emprego da equivalência entre pesos de eixos de diferentes veículos comparados com o peso de um eixo padrão. É possível também inferir que, para situações específicas como em ambiente urbano, além do procedimento anterior também são utilizados fatores de equivalência de ocupação da via na fixação dos valores de responsabilidade de cada tipo de veículo, não sendo, entretanto, explicitados de maneira clara quais, exatamente, os fatores envolvidos.

A insuficiência de referências da origem dos critérios adotados e a aparente ausência de outros critérios alternativos leva a crer que por diversos motivos os valores atualmente atribuídos têm sido aceitos. Essa aceitação vem ocorrendo provavelmente,

- por não ser possível o emprego de processo mais adequado para a definição de tarifas,
- por estarem dentro de um nível de precisão aceitáveis aos fins pretendidos,
- pelas sistemáticas críticas aos valores serem totalmente desprovidas de indicação de procedimentos alternativos,
- pelo fato de que a real correspondência com a realidade bem como as conclusões proporcionadas são convenientes aos interessados no processo.

Os fatores que influenciam a longevidade dos pavimentos e as relações oriundas das metodologias acima citadas, determinística e estaticamente aplicadas, não são capazes de explicar plenamente o fenômeno ao longo do tempo. Os diferentes fatores decorrentes do uso somados aos relativos às características geométricas das rodovias e as condições climáticas são os determinantes do grau de serventia dos pavimentos.

Foram identificados alguns modelos desenvolvidos para estimar a degeneração dos pavimentos sob diferentes circunstâncias de uso, tendo estes modelos a capacidade de fornecer resultados adequados sobre as condições futuras, a partir de correlações com os fatores identificados com a realidade de uso das vias. Entretanto, estes modelos de estimativa geralmente fornecem somente o estado de degeneração futuro, não fazendo a interligação dos mesmos com os resultados produzidos por procedimentos de manutenção eventualmente implementados para manter o pavimento em condições adequadas de uso.

Um dos modelos atualmente disponíveis, o HDM III, Highway Design and Maintenance Model (1995), desenvolvido pelo Banco Mundial, consegue suprir a deficiência anteriormente citada, uma vez que, além de estimar as condições futuras do pavimento,

integra resultados de diferentes políticas de manutenção e suas correspondentes implicações financeiras, produzindo ampla análise econômica comparativa entre estas.

2.2 DEFEITOS E PROBLEMAS NAS RODOVIAS

Tendo em vista a importância do pavimento sobre os demais elementos constituintes de uma rodovia, consideramos importante ressaltar que existe uma preponderância dos pavimentos flexíveis sobre os pavimentos rígidos nas estradas brasileiras. Este estudo se desenvolve em torno dos pavimentos flexíveis levando em consideração que estes passam a sofrer a ação de diferentes agentes cujas formas e intensidade distintas contribuem para sua degeneração. Aqui se inclui o fluxo de veículos sobre a pista de rolamento, especialmente os de carga, a ação do meio ambiente através das oscilações climáticas de temperatura e umidade, as condições construtivas como as espessuras e materiais que compõem as diversas camadas do pavimento em virtude das características físicas e mecânicas destes materiais, e as condições de conservação a que via está sujeita, que são fatores que determinam o comportamento estrutural e funcional do pavimento ao longo do tempo.

A deterioração do pavimento, conforme CASTRO (1999), ocorre pela contínua e sistemática atuação dos veículos sobre a pista enquanto exercem a transmissão dos pesos das cargas dos eixos veículos sobre o pavimento, produzindo tensões e deformações que com o passar do tempo vão ocasionando o aparecimento de trincas e desgaste no revestimento e deformidades das camadas inferiores. Simultaneamente a estes agentes, os fatores climáticos produzem aumento da rigidez dos ligantes asfálticos fazendo com que o revestimento fique mais vulnerável à ação das tensões principalmente quando já instalado o processo de trincamento e desintegração. A partir desta situação começam a surgir irregularidades cada vez mais graves na superfície da pista, sendo este o resultado da ação conjunta dos fatores citados.

2.2.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO

O pavimento de uma via é conceituado como um conjunto de camadas estruturais com espessuras específicas assente sobre o leito do terrapleno. Sua função é suportar as cargas impostas pelos veículos assegurando condições permanentes de conforto, economia e segurança ao tráfego rodoviário.

De uma forma geral os pavimentos podem ser classificados em rígidos e flexíveis, sendo esta classificação determinada pelas características mecânicas dos materiais que compõem suas diversas camadas. No pavimento rígido a camada de revestimento possui elevada resistência à tração, conferindo à mesma, uma maior responsabilidade de absorção dos esforços. Já no pavimento flexível a resistência à tração é reduzida, sendo os esforços absorvidos através de sua distribuição mecânica entre as diversas camadas.

Composição dos Pavimentos

Em decorrência da elevada predominância da utilização de pavimentos flexíveis nas estradas brasileiras e em especial nos trechos das rodovias em estudo, serão analisados e classificados somente os pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico, uma vez que, como será visto mais adiante, o modelo HDM III só pode efetuar estimativas para este tipo de pavimento.

As camadas que constituem um pavimento flexível, conforme o Manual de Pavimentação do DNER, (1996), são assim definidas,

- **Revestimento** - "*Camada destinada a resistir diretamente às ações do tráfego, a impermeabilizar o pavimento, a melhorar as condições do rolamento, no que se refere ao conforto e a segurança, e a transmitir, de forma atenuada, as ações do tráfego às camadas inferiores.*".
- **Base** - *"Camada destinada a resistir às ações verticais dos veículos e transmiti-las, de forma conveniente, à sub-base."*
- **Sub-base** - *"Camada complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura da base."*
- **Reforço do Sub-leito** - *"Camada existente, no caso de sub-leito com baixa capacidade de suporte, executada com o objetivo de reduzir a espessura da base e da sub-base."*
- **Regularização do Subleito** - *"Camada de espessura variável, executada quando se torna necessário preparar o leito da estrada para receber o pavimento."*

A distinção entre os tipos de pavimento se dá basicamente pelo fato de que, no pavimento rígido, por sua característica de melhor resistência à tração, a camada superior substitui funcionalmente as duas primeiras (revestimento e base), enquanto que no pavimento

flexível não há compensações estruturais, sendo necessária a presença de todas as camadas indicadas.

No pavimento flexível o revestimento, composto por material betuminoso, por sua situação construtiva de superior qualidade e por sofrer a ação direta das rodas dos veículos, torna-se a camada mais importante, pois em sua superfície são percebidas pelo usuário as manifestações de deterioração.

2.2.2 DETERIORAÇÃO NOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A deterioração dos pavimentos flexíveis é caracterizada por diversas formas de manifestações que decorrem da fadiga ou desgaste do revestimento, da consolidação ou deformação das camadas inferiores, ou da combinação de todos estes elementos. Estas manifestações são divididas em diversos tipos conforme suas características de dano e forma de apresentação, onde as que com maior freqüência se manifestam, com base nas especificações ES-128/83 (DNER, 1983) e CERATTI (1997), são a seguir definidas,

- **Afundamento de Trilha** - "*Manifestação constituída por sulcos longitudinais devido à deformação permanente na trilha das rodas.*"
- **Trincamento** - "*Manifestação constituída por rupturas do revestimento de maior ou menor porte, podendo ser transversal, longitudinal, em bloco, tipo couro de crocodilo, ou irregular.*"
- **Buracos ou Panelas** -"*Manifestações constituídas por cavidades abertas no revestimento, podendo atingir a base.*"
- **Exsudação** - "*Manifestação constituída de manchas na superfície de rolamento produzido pelo excesso de ligante betuminoso.*"
- **Desgaste** - "*Manifestação caracterizada pela aspereza superficial com perda de envolvimento betuminoso do agregado.*"
- **Afundamento** - "*Manifestação constituída de depressão local da superfície do pavimento.*"
- **Ondulação ou Corrugarão** -"*Manifestação constituída pela sucessão de depressões e saliências na superfície do pavimento.*"

2.2.3 ÂMBITO DE OCORRÊNCIA DOS DEFEITOS E PROBLEMAS

Os defeitos e problemas que surgem em uma rodovia em decorrência do uso e da ação do meio ambiente podem ser agrupados em função das diversos tipos de manifestação. Os grupos de atividades de manutenção, conforme PECR (1997), são divididos nos sete grupos a seguir relacionados,

- na pista de rolamento e acostamentos,
- na drenagem superficial e profunda,
- nas obras de arte correntes,
- nas obras de arte especiais,
- nas obras de proteção do corpo estradal,
- na sinalização,
- nas obras complementares.

Defeitos e Problemas na Pista de Rolamento e Acostamentos

Os defeitos e degradações superficiais constituem-se em fissuras e fendilhamento no revestimento, sendo que as principais manifestações são designadas no jargão rodoviário por,

- trincas tipo couro de jacaré,
- trincas nas trilhas das rodas,
- trincas longitudinais nas bordas do pavimento,
- trincas longitudinais no eixo do pavimento,
- trincas de retração térmica,
- trincas de reflexão,
- escorregamento do revestimento,
- exsudação,
- desagregação ou panelas,
- desgaste.

As deformações em perfil são identificadas pelas manifestações designadas por,

- trilha de rodas,
- afundamento,
- ondulação,
- corrugação.

Defeitos e Problemas nas Drenagens Superficial e Profunda

Nas drenagens superficial e profunda são identificados problemas de,

- crescimento de vegetação nos dispositivos de drenagem,
- acúmulo de entulhos e sujeira nas valetas e saídas d'água,
- ruptura de meios-fios, banquetas, sarjetas e decidas d'água,
- obstruções nos drenos superficiais e profundos.

Defeitos e Problemas nas Obras de Arte Correntes

Nas obras de arte correntes, designação técnica para bueiros e galerias pluviais, são encontrados os problemas de,

- bueiros obstruídos, desalinhados e insuficientes,
- bocas de bueiros assoreadas,
- erosão nas entradas e saídas dos bueiros,
- alas quebradas ou inexistentes.

Defeitos e Problemas nas Obras de Arte Especiais

Nas obras de arte especiais, designação para pontes e viadutos, são encontrados os problemas de,

- comprimento insuficiente da obra,
- guarda-corpos e guarda-rodas danificados,
- falta de pintura e sinalização,
- revestimento da pistas danificado,
- degeneração e deslocamento de fundações, pilares e vigas,
- deformação, fissuração e trincamento nos elementos estruturais,
- degeneração dos aparelhos de apoio,
- deformação e afundamento dos acessos.

Defeitos e Problemas no Corpo Estradal

No corpo estradal são identificados os problemas de,

- instabilidade,
- erosão dos aterros e cortes.

Defeitos e Problemas na Sinalização

Na sinalização são observados os problemas de,

- desgaste das faixas e placas,
- refletorização deficiente,
- depredação e pichação,
- visibilidade deficiente.

Defeitos e Problemas na Faixa de Domínio e Sistema de Proteção

Na faixa de domínio e no sistema de proteção são encontrados problemas de,

- falta de revestimento vegetal,
- falta de capina e poda,
- depredação das áreas plantadas,
- ausência de defensas,
- ausência de cercas,
- deterioração de defensas e cercas.

2.3 MODELOS DE PREVISÃO DE DETERIORAÇÃO

Existem hoje diversos modelos computacionais que efetuam a predições dos estados futuros de deterioração dos pavimentos. Em MARCON (1998), estes modelos são agrupados em,

- puramente mecanísticos;
- empírico-mecanísticos;
- de regressão;
- subjetivos.

Os modelos puramente mecanísticos são baseados em parâmetros de resposta primária, como por exemplo, as tensões e deformações exercidas sobre o pavimento. Os empírico-mecanísticos por sua vez utilizam parâmetros de respostas relacionados com a deterioração funcional ou estrutural do pavimento com base em equações de regressão. Nos modelos de regressão as varáveis dependentes relativas à deterioração funcional ou estrutural são correlacionadas com variáveis independentes tais como tráfego e peso dos veículos e características dos materiais empregados. Por último os modelos subjetivos são baseados na

experiência dos engenheiros que inferem os resultados a partir de padrões estabelecidos anteriormente.

2.4 MODELO HDM III

O modelo Highway Designe and Maitenance Model, HDM III, conforme ANDRADE (1998), teve seu início em 1969 a partir de estudos financiados pelo Banco Mundial com o objetivo de promover o desenvolvimento de uma metodologia capaz de apoiar as inúmeras análises econômicas de projetos rodoviários em países em desenvolvimento.

A fase inicial, concluída em 1971, foi executada em conjunto pelo Massachusetts Institute of Technology – MIT, pelo British Transport and Road Research Laboratory – TRRL e pelo Laboratoire Centrale dês Ponts et Chaussees – LCPC. Neste estágio foram desenvolvidos a estrutura conceitual e o primeiro modelo de custos rodoviários, onde eram levados em conta os diversos custos de construção, de conservação e de operação das rodovias em uso.

Posteriormente foram desenvolvidos no Quênia entre 1971 e 1975 estudos mais específicos que forneceram modelos de deterioração para pavimentos flexíveis sob condições de clima tropical e subtropical, abordando inclusive as relações quantitativas entre os custos de operação dos veículos e as condições físicas das rodovias. Em um terceiro estágio de desenvolvimento do HDM-III ocorrido entre 1976 a 1981, tanto no Brasil como nas Ilhas Caribenhas foram desenvolvidos estudos que correlacionaram os custos operacionais com as condições de terreno e traçado geométrico específico destas regiões, enquanto que na Índia os estudos se concentraram nas condições de tráfego em virtude dos congestionamentos e acidentes.

As bases empírico-mecanísticas dos modelos desenvolvidos permitem que eles sejam mais facilmente ajustados às condições diferentes para as quais foram desenvolvidos, pois os modelos de deterioração foram validados a partir de características diversas de países diferentes.

Contudo a estrutura conceitual do modelo HDM III é de produzir como resultado final elementos que possam oferecer diversas alternativas viáveis que possam ser escolhidas para proporcionar o mínimo valor total para os custos do transporte rodoviário, especialmente no subsistema relativo ao pavimento, que representa grande parte dos custos de manutenção rodoviária. A lógica desta ferramenta de avaliação e planejamento é comparar as estimativas

de custos das diferentes alternativas de conservação, avaliando economicamente cada uma delas ao longo de um determinado período.

Com a utilização do HDM III é possível então simular diferentes situações de tráfego em um determinado trecho de rodovia, estimando para cada situação o montante de recursos necessários para a conservação do pavimento. A partir de então é possível distribuir entre os diferentes tipos de veículos esse custos, sendo estabelecido assim o valor monetário que corresponde a responsabilidade de cada veículo.

O HDM III, por produzir extenso quadro de informações de caráter físico sobre o pavimento, apresenta-se como bastante adequado para uso como ferramenta de simulação no desenvolvimento do estudo proposto. Permite avaliar o caráter econômico-financeiro na composição dos custos de recuperação dos pavimentos degenerados com precisão por guardar estreita relação com as características estruturais das rodovias brasileiras. Além disso, pelo fato do mesmo já estar sendo utilizado pelos órgãos gestores do sistema rodoviário brasileiro bem como pela comunidade acadêmica em apoio às pesquisas, sua escolha torna-se quase que obrigatória.

2.4.1 ESTRUTURA DE DADOS DO HDM III

Controle de análise – A*nalysis control*

Este conjunto de dados é relativo ao aspecto mais geral da simulação, a denominação do projeto, a taxa de desconto, o período de análise, a data de início, a moeda e o fator de conversão devem ser informados.

Características da rodovia – *Road characteristics*

As características da rodovia são informadas através de três conjuntos de dados que definem a geometria da rodovia e as condições ambientais a que esta submetida, as condições estruturais do pavimento e os dados do tráfego ao qual a rodovia será submetida.

Frota de veículos – V*ehicle fleet*

Nos dados relativos à frota de veículos são informados basicamente para cada tipo de veículo o peso bruto em toneladas, o número de eixos, e o fator de equivalência do eixo-padrão (80 kN).

Definição das estratégias – *Strategies*

Nesta fase são informadas as alternativas de conservação e custos correspondentes às diversas operações que compõem cada alternativa ou estratégia.

2.4.2 RESULTADOS FORNECIDOS PELO HDM III

O modelo HDM III tem capacidade de fornecer inúmeras informações relativas à simulação da rodovia proposta a partir de dados específicos. O HDM III fornece os resultados em quatro grupos distintos de saída a seguir indicados.

Deterioração - *Deterioration*

Onde são apresentados os resultados relativos à evolução das condições do pavimento, ou seja, as condições de deterioração através dos valores dos diferentes defeitos que vão surgindo ao longo do tempo.

Impactos aos usuários – *User impacts*

Onde são apresentados os resultados relativos aos valores de custos operacionais, velocidades e fluxos dos veículos que utilizam a rodovia.

Fluxo de custos – *Cost streams*

Onde são apresentados os custos econômicos e financeiros a serem suportados ao longo do tempo.

Análise econômica – *Economic analysis*

Onde são apresentadas as taxas internas de retorno para cada estratégia prevista.

– CAPÍTULO 3 –

MANUTENÇÃO DOS PAVIMENTOS
DEFINIÇÕES - COMPOSIÇÃO - ALOCAÇÃO DOS CUSTOS

3.1 INTRODUÇÃO

O estado de conservação do pavimento, por ser direta e imediatamente percebido pelos usuários, é o maior indicador do bom ou mau estado da rodovia. Sua preservação, além de garantir ao tráfego conforto e segurança, torna-se necessária pela acentuada participação na redução dos custos operacionais dos veículos e no aumento do período de utilização da via.

É sabido que em relação à construção de uma rodovia são levados em conta diversos fatores técnicos e econômicos, bem como consideradas as questões de interesse político e estratégico nas tomadas de decisão de execução da obra. Entretanto, no que se refere à manutenção das vias o enfoque é um pouco diferente. Por se tratar de um patrimônio público, a administração pública tem por obrigação preservar seu bom estado de conservação, evitando a degradação e proporcionando condições adequadas de tráfego.

Existem em uso, conforme ANDRADE (1998), basicamente três tipos de métodos que têm sido empregados pelos órgãos gestores estatais para contornar esta questão.

O **Método Responsivo** inclui uma série de medidas onde os procedimentos de conservação são estabelecidos em função dos requisitos estruturais da rodovia e dos níveis de serviço necessários à manutenção de acordo com as disponibilidades orçamentárias.

O **Método Orientado por Crises** é indicado quando as rodovias são operadas com pouca ou nenhuma conservação até a ocorrência de um estado de deterioração tal que obstrua ou interrompa o tráfego. Nessa situação, são feitos então onerosos trabalhos de restauração e reconstrução.

O **Método de Eficiência Técnico-Econômica** foi desenvolvido através da adoção de procedimentos selecionados para minimizar os custos do transporte rodoviário para a sociedade. Os gastos e os retornos econômicos são avaliados em função dos benefícios líquidos para a sociedade, considerando-se todo o prazo de serviço do projeto e de suas

alternativas, incluindo também a economia operacional para os usuários e para os organismos rodoviários.

Não existe uma determinada imposição ou preferência técnica de uma dentre as opções acima, sendo mais bem escolhida aquela que ofereça maior viabilidade de execução.

Mesmo que os gastos de reconstrução dos pavimentos, conforme BARBOSA (1964), possam alcançar valores da ordem de duas a quatro vezes os valores de construção da rodovia, fica caracterizado que a conservação adequada de uma via é muito importante pela significativa economia de recursos que proporciona ao longo do tempo. Isso representa um montante que inclui gastos desde a infra-estrutura da rodovia até os custos de operação dos veículos, visto que a prática mais comum na maioria das estradas brasileiras é a de proceder aos reparos necessários somente após a via chegar a uma situação crítica de conservação.

Sob este aspecto, diversas são as definições encontradas na literatura técnica que definem o que seja manutenção ou conservação do pavimento. Segundo BAPTISTA (1975),

> *"Consiste a conservação dos pavimentos em mantê-lo sempre em boas condições de tráfego, de modo que a estrada possa ser usada confortavelmente e com segurança."*

Esta definição apesar de bastante ampla não contempla plenamente todos os aspectos envolvidos na conservação. Faltam ainda outros tais como, a economicidade na operação dos veículos e preservação dos recursos públicos envolvidos.

Outros autores sugerem que um grande número de elementos deve ser contemplado para o atendimento da manutenção dos pavimentos em sua totalidade. Conforme BARBOSA (1964),

> *"O bom ou mau funcionamento da rodovia e, em particular, do pavimento, depende do comportamento do conjunto de obras, que lhe é complementar, como drenagem, estabilização, obras de arte, obras de proteção de arrimos e taludes, e por fim a estrutura em que se assenta o pavimento.".*

3.2 DEFINIÇÕES

No Manual de Pavimentação (DNER, 1996) encontramos definições indispensáveis ao entendimento dos diversos conceitos, cujo entendimento diferenciado por diversos autores e técnicos da área rodoviária, torna tais considerações necessárias.

A própria terminologia rodoviária, por vezes, emprega a expressão "*pavimento*" como sendo a própria rodovia, o que implica em confusões especialmente no que diz respeito aos procedimentos operacionais e custos envolvidos na manutenção.

Conforme consta em seu Capítulo 12, no item Considerações Iniciais,

> *"O objetivo maior do pavimento - entendido aqui como a rodovia com todos os seus componentes, deverá se constituir em atender, adequadamente, às suas funções básicas. Por este motivo, deverá ele ser projetado, construído e conservado de forma a apresentar, invariavelmente, níveis de serventia compatíveis e homogêneos, em toda sua extensão, os quais são normalmente avaliados através da apreciação de três características gerais de desempenho: a segurança, o conforto, a economia (de manutenção, operação e segurança)".*

No mesmo trabalho encontramos a expressão "*manutenção*" designando um nível mais amplo de procedimentos relativos à conservação da via, enquanto que o termo "*conservação*" apresenta-se como sendo um conjunto específico de operações que compõem a manutenção.

Com o objetivo de melhor traduzir os diversos conceitos e definições normalmente empregados na terminologia rodoviária, do Manual de Pavimentação (DNER, 1996) foram extraídas as seguintes definições,

- **Manutenção do Pavimento** - "*Constitui-se no conjunto de operações que são desenvolvidas objetivando manter ou elevar, a níveis desejáveis e homogêneos, as características gerais de desempenho, segurança, conforto, economia, do pavimento considerando globalmente todos os componentes da rodovia (pavimento, terraplenagem, proteção de corpo estradal, obras de arte, drenagem, sinalização, obras complementares, etc.)*".
- **Conservação Preventiva Periódica** - "*É o conjunto de operações de conservação realizadas periodicamente com o objetivo de evitar o surgimento ou o agravamento de defeitos.*"
- **Conservação Rotineira** - "*Conservação realizada de acordo com programação com base em mesma técnica para eliminação de imperfeições existentes. É o conjunto de operações realizadas com o objetivo de reparar ou sanar defeitos.*"

- **Remendos** - "*É o conjunto de operações destinadas a corrigir manifestações de ruína específicas, ocorrentes a nível de revestimento betuminoso e, em alguns casos extremos, atingindo frações de camada de base. São operações bem definidas e de pequeno porte.*"
- **Recuperação Superficial** - "*É o conjunto de operações destinadas a corrigir falhas superficiais, tais como, fissuração, desagregação, polimento das asperezas, desgaste, exsudação e, eventualmente, também pequenas trilhas de rodas. Trata-se de recapeamento com delgadas espessuras, de no máximo 25 mm, não apresentando por conseguinte efeito estrutural próprio.*"
- **Reforço Estrutural** - "*É o conjunto de operações destinadas a aumentar a capacidade estrutural do pavimento. Este objetivo é alcançado normalmente pela sobreposição de uma ou mais camadas, as quais responderão ainda pela correção de deficiências superficiais de desagregação e deformação existentes.*"
- **Restauração** - "*É o conjunto de operações destinado a restabelecer o perfeito funcionamento do pavimento. Processa-se normalmente pela substituição e (ou) reconfecção de uma ou mais camadas existentes, complementadas por outras que deverão conferir ao pavimento o aporte de capacidade estrutural necessário e restabelecer na íntegra suas características originais.*"
- **Melhoramento** - "*É o conjunto de operações que acrescentam às rodovias características novas, ou que modifica as características existentes.*"

3.3 COMPOSIÇÃO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA

Do Manual de Pavimentação (DNER, 1996), são extraídas as descrições de atividades ou operações típicas de que constituem a Manutenção do Pavimento.

Conservação Preventiva Periódica

- limpeza de sarjetas e meios-fios,
- limpeza manual de valetas,
- limpeza de bueiros,
- limpeza de bocas de drenos profundos e superficiais,
- limpeza e pintura de pontes,
- limpeza e enchimento de juntas,

- roçada,
- capina.

Conservação Rotineira

- selagem de trincas,
- recomposição de obras de drenagem superficial,
- recomposição de obras de drenagem profunda,
- recomposição de obras de arte corrente,
- recomposição das sinalizações horizontal e vertical,
- recomposição de guarda-corpos,
- recomposição de cercas,
- recomposição de defensas metálicas,
- recomposição de telas anti-ofuscantes,
- reconformação da plataforma não pavimentada,
- combate à exsudação,
- controle de erosão.

Remendos

- superficiais ou tapa-buraco,
- profundos.

Recuperação Superficial ou Recarga

- lama asfáltica,
- capa selante,
- tratamento superficial.

Reforço Estrutural

- quando as operações de remendo e recuperação superficial não são mais justificáveis,
- tarefa que exige determinação específica da capacidade de carga residual do pavimento.

Reconstrução

- quando o reforço estrutural não é mais justificável devido ao elevado grau de degradação,
- processo parcial ou total em função de estudos específicos.

3.4 ALOCAÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Na busca dos objetivos pretendidos, torna-se necessário trazer ao presente trabalho alguns conceitos oriundos da microeconomia para definir o procedimento de subdivisão dos custos envolvidos na manutenção de uma rodovia entre os usuários.

Custos Fixos e Variáveis

Os custos totais de manutenção de uma rodovia, ajustando os conceitos de HEIBRONER & THUROW (1983) ao presente trabalho, tendem a se elevar na medida em que existe maior utilização da via. Entretanto estes custos adicionais não se elevam de maneira proporcional ao nível de utilização, uma vez que alguns elementos envolvidos não são afetados. A conservação dos sistemas de drenagem, da sinalização vertical e das obras de contenção, por exemplo, não se alteram com o volume de tráfego que circula pela rodovia, enquanto que os custos com a conservação do pavimento são diretamente afetados por esse tráfego.

Segundo HEIBRONER & THUROW (1983),

> *"... alguns custos, determinados por contrato legal, pelo costume ou pelo uso inalterado de um fator, não variam com a quantidade produzida. Nós os chamamos de custos fixos.",*

assumindo-se como "quantidade produzida", as viagens realizadas pelos veículos sobre a via.

Dos mesmos autores ressaltamos a afirmação de que,

> *"Todos os custos que variam com a quantidade produzida são chamados de custos variáveis."*

Também encontramos citações concordantes em PARKIN (1995),

> *"El* ***costo fijo*** *es el costo que es independiente de nivel de producto. El* ***costo variable*** *es el costo que varía com el nivel de producto.".*

Diante do acima exposto devemos considerar fundamentalmente dois procedimentos diferenciados na alocação dos diferentes custos envolvidos na manutenção das rodovias. Um deles serve para alocação dos **custos fixo, feito em função da ocupação da rodovia**. Neste cálculo, os valores dos gastos em manutenção, que independem do volume de tráfego, são divididos entre os veículos de forma proporcional ao quanto da via se encontra disponível para seus deslocamentos. O outro serve para alocação dos **custos variáveis,** sendo feito em função do desgaste direto produzido pelos veículos sobre a rodovia. Neste cálculo os custos envolvidos são divididos entre os veículos de forma proporcional ao **peso** ou **capacidade de carga** de cada um, ou melhor, de forma proporcional à **capacidade destrutiva** de cada tipo de veículo.

A elaboração do **custo total** leva em conta a soma dos custos fixos mais os variáveis onde os procedimentos descritos são empregados de maneira complementar e cumulativa, ou seja, cada custo envolvido é alocado da maneira mais apropriada possível, de forma que a responsabilidade total de cada veículo é a soma das parcelas dos custos alocados tanto por seu nível ocupação, como por sua capacidade de degeneração da rodovia.

O encaminhamento pretendido significa que os custos são alocados inicialmente, ou preliminarmente na forma citada, não significando que os resultados obtidos após as etapas do estudo correspondam exatamente como se as duas considerações pudessem ser feitas isoladamente. Isto se deve principalmente pelo fato de haver considerações inerentes ao HDM III, e de outros fatores secundários que não estão sendo considerados. Assim, os procedimentos de alocação se referem aos valores de entrada de dados a serem analisados pelo HDM III e que serão os principais determinantes dos resultados finais produzidos pelo sistema de simulações.

3.5 METODOLOGIA DE ALOCAÇÃO DOS CUSTOS

São dois os valores que fundamentalmente são levados em consideração para compor os custos envolvidos na manutenção rodoviária. Estes fatores são os principais indicadores da responsabilidade degenerativa dos veículos.

O primeiro indicador representa os gastos em manutenção com os elementos componentes da rodovia cuja degeneração não sofre interferência do carregamento dos veículos. Deste modo esta parcela exclui os custos de operações que não possuem correlação

direta com o peso dos veículos, ou que o peso dos veículos influencia muito pouco na composição destes custos.

A alocação proposta neste caso se dá em função da **ocupação da via**, onde veículos leves, que por serem menores e mais velozes, permanecendo por menos tempo na rodovia do que os veículos de transporte de cargas, que são maiores e mais lentos.

O segundo indicador, que representa os gastos em manutenção com os elementos da rodovia cuja degeneração é imposta ou acentuada em decorrência do carregamento dos veículos, é feito através do levantamento dos custos das operações cuja implementação possui correlação direta com o peso dos veículos.

Para o segundo valor a alocação é determinada em função da **capacidade destrutiva**, onde a degeneração produzida pelos veículos leves é muito pequena se comparada a dos veículos pesados, cuja capacidade destrutiva varia substancialmente em função do número e tipo de eixos de cada veículo.

Naturalmente a alocação de cada um dos valores acima descritos é efetivada de formas distintas, uma vez que representam condições de deterioração que não têm os mesmos fatores desencadeantes nem ficam sujeitas aos mesmos padrões de avaliação.

3.5.1 ALOCAÇÃO POR OCUPAÇÃO DA RODOVIA

A alocação dos custos de manutenção por ocupação de via, no âmbito do presente trabalho, de cada tipo de veículo é definida em função das condições operacionais da rodovia. Deste modo, a intensidade do fluxo total de veículos circulantes bem como a composição e classificação desse fluxo em termos de quantidades de veículos leves ou pesados constituem fatores de ordem acessória e influenciantes nos resultados.

Fator de Ocupação de Veículo

A alocação dos custos em questão é procedida de acordo com os fatores de ocupação de via (FOV) referente às características de cada tipo de veículo determinados de forma semelhante às metodologias descritas no HCM - Highway Capacity Manual (1997). Neste tratado, cada tipo de veículo possui fatores de ocupação específicos em função de suas características geométricas e de desempenho em diferentes condições de tráfego. Neste caso, os veículos de transporte de carga leves ou pesados, designados simplesmente de caminhões,

e os de transporte de passageiros, os ônibus, são comparados aos automóveis, tomados como base de referência para determinar o fator de ocupação de via.

Os automóveis possuem um índice de ocupação referencial igual à unidade enquanto que os demais veículos possuem fatores que indicam suas ocupações de via em número equivalente a esta unidade. Dessa forma, o fator de ocupação representa uma equivalência, expressa em número de automóveis, de cada tipo de veículo quanto à ocupação da rodovia. Estes são valores médios de equivalência de acordo com as características da rodovia levando em conta outros parâmetros de ajustes que caraterizam as situações genéricas a que o tráfego está sujeito.

O HCM, quanto às condições topográficas genéricas das rodovias brasileiras, apresenta os seguintes fatores de equivalência para os veículos pesados,

- região plana - 1,7
- região ondulada - 4,0
- região montanhosa - 8,0

Fator de Ocupação de Eixo

O fator de ocupação de eixo (FOE), é basicamente representado pelo fator de ocupação de veículo, FOV, dividido pelo número de eixos do veículo. O FOE para os automóveis em geral é 0,5 considerando-se o FOV igual a 1,0 e o número de eixos dois. Já os fatores de ocupação dos veículos de transporte são variáveis, uma vez que, além do índice FOV variar com a região da rodovia, existem diversos tipos de composições de eixos.

3.5.2 ALOCAÇÃO POR CAPACIDADE DE DEGENERAÇÃO DA VIA

A alocação dos custos de manutenção em função da capacidade destrutiva da rodovia é, certamente, a tarefa mais complexa em desenvolvimento no presente trabalho, uma vez que demanda conhecimento de inúmeras informações, árdua atividade organizacional, e um sistema que possa, de maneira adequada, produzir os resultados necessários.

Em uma determinada via os veículos em circulação apresentam diferentes configurações geométricas e diversas cargas distribuídas entre seus eixos. Esta condição impõe um complexo quadro de carregamento e distribuição de tensões sobre o pavimento envolvendo diferentes ações destrutivas, as quais por sua heterogeneidade são difíceis de serem comparadas entre si.

O HDM III, modelo computacional empregado na busca dos objetivos do trabalho, assim como os principais métodos de elaboração de projetos de pavimentos, utilizam a metodologia de aplicação equivalente de cargas, onde o efeito provocado por todas as cargas em atividade sobre o pavimento é substituído pelo efeito equivalente de uma carga padrão que produz a mesma degeneração das cargas experimentais.

Em essência, o modelo estima o início dos danos e suas respectivas evoluções na atividade destrutiva do pavimento a partir das cargas oferecidas pelo peso dos veículos em virtude da freqüência de incidência das mesmas. Estes diversos elementos associados são substituídos por uma carga equivalente cuja ação produz correlação a um tipo específico de dano causado pelo efetivo tráfego na rodovia.

Fator de Equivalência de Carga

O conceito de carga equivalente, por sua capacidade de relacionar os diversos elementos subjacentes das tensões atuantes de modo prático e preciso, é generalizadamente utilizado nos projetos de pavimentos rodoviários. O procedimento consiste em converter as solicitações produzidas pelos eixos dos diversos tipos de veículos em relação a um determinado eixo considerado como padrão. Assim como, implicitamente, o conceito de carga equivalente traz consigo a noção de correspondência entre as cargas em questão e os danos por elas causados ao pavimento, é possível de forma adequada e simples estabelecer uma correlação entre as cargas atuantes sobre o pavimento e seu estado de degeneração.

Os fatores de equivalência de cargas utilizados atualmente no país são os estabelecidos pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). O Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER, 1966) é baseado nos fatores estabelecidos pelo U.S. Corps of Engineers. O Método PRO 159-85, (DNER, 1985), é baseado na equação geral de comportamento da AASHTO, conforme será elucidado a seguir, e o Método PRO 10-79 (DNER, 1979) é baseado nos fatores de equivalência utilizados na Califórnia.

Muitos são os estudos técnicos que tratam deste tema originando diferentes resultados a partir de diferentes procedimentos. Em virtude disso, os valores por eles apresentados são bastante distintos, havendo diferenças da ordem de 400% entre os resultados atualmente encontrados.

Para a escolha do procedimento mais adequado ao desenvolvimento do presente estudo torna-se necessário uma análise das premissas de origem de cada um deles, bem como a sensibilidade de cada um aos diversos elementos envolvidos.

Os procedimentos baseados nos estudos do CE e AASHTO, segundo PEREIRA (1992), possuem a característica de serem dependentes não só da carga e configuração geométrica dos eixos e da carga atuante, mas também das características intrínsecas do pavimento.Já o método PRO 10-79 (DNER, 1979) dependente exclusivamente da configuração dos eixos e da carga atuante.

A metodologia proposta pelo CE, uma vez que corresponde à situação de ruptura do subleito, apresenta forte dependência da resistência dessa camada sendo pouco sensível às condições do revestimento.

A metodologia empregada pela AASHTO, segundo SANTANA (1993), teve seu desenvolvimento intimamente vinculado ao nível de serventia da camada de revestimento, o que traduz uma relação direta entre o tráfego real, as condições ambientais e a qualidade da camada asfáltica superior do pavimento.

Fator de Eixo - FE

O fator de equivalência de carga utilizado pelo HDM III adota a metodologia da AASHTO empregando o termo designado de "Fator de Equivalência do Eixo-Padrão", definido em ARANOVICH (1998) como sendo,

> *"o número de aplicações de um eixo com rodado duplo de 80kN, o qual poderia causar o mesmo dano para a rodovia, do que o eixo considerado."*

O HDM III utiliza para determinação do Fator de Carga de Eixo-Padrão Equivalente, ΔF, ou simplesmente a designação Fator de Eixo (FE) conforme a equação,

$$\Delta F = (Axl/Saxl)^{4,0} \qquad (1)$$

onde,

ΔF – fator de carga de eixo-padrão equivalente de um determinado eixo, em números de eixos-padrão,

Axl – carga média no eixo, em toneladas,

Saxl – carga de eixo simples padrão para cada tipo de eixo, sendo,

Saxl = 6,60 t para eixo simples de rodas simples,

Saxl = 8,16 t para eixo simples de rodas duplas,

Saxl = 7,55 t para eixo tandem duplo de rodas duplas,

Saxl = 7,63 t para eixo tandem triplo de rodas duplas.

Fator de Veículo - FV

O fator de veículo (FV) de forma semelhante ao fator de eixo-padrão representa quantitativamente a capacidade de um veículo causar os mesmos danos ao pavimento do que o respectivo número de eixos-padrão equivalentes. Deste modo os eixos do veículo são substituídos por um determinado número de eixos-padrão equivalentes mantendo-se a mesma relação de dano.

O número equivalente anual de operações do eixo-padrão é determinado pelo HDM III através do somatório dos produtos dos fatores de carga pelos respectivos números de operações dos eixos atuantes sobre a rodovia.

— CAPÍTULO 4 —

RODOVIA

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS - RELEVO - MEIO AMBIENTE - PAVIMENTO

4.1 INTRODUÇÃO

Para a determinação das principais características inerentes as rodovias do Rio Grande do Sul foram utilizados os levantamentos efetuados para o STPR - Seleção de Trechos Prioritários para Restauração com Aplicação do HDM III (ECOPLAN,1995) e o estudo denominado "Avaliação do Impacto da Implantação de Concessões nas Rodovias do Rio Grande do Sul" (LASTRAN,1998), documentos com abrangência estadual que aglutinam informações das principais rodovias em serviço.

4.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS RODOVIAS

As características geométricas das rodovias relevantes a este trabalho são,

- largura da pista de rolamento,
- largura dos acostamentos,
- curvas horizontais.

A partir dos 109 trechos rodoviários levantados no STPR foram feitas as análises estatísticas de cada uma destas características conforme os dados a seguir,

4.2.1 LARGURA DA PISTA DE ROLAMENTO

Foram identificadas seis larguras de pista de rolamento com as seguintes dimensões e ocorrências,

- largura de 6,00 m, em 20 trechos, correspondendo a 18,3% dos trechos;
- largura de 6,50 m, em 3 trechos, correspondendo a 2,8% dos trechos;
- largura de 6,60 m, em 3 trechos, correspondendo a 2,8% dos trechos;
- largura de 7,00 m, em 63 trechos, correspondendo a 57,8% dos trechos;
- largura de 7,20 m, em 19 trechos, correspondendo a 17,4% dos trechos;

- largura de 8,50 m, em 1 trecho, correspondendo a 0,9% dos trechos;

demonstrando que,

- cerca de 1/4 das rodovias têm pista estreita com largura até 6,60m,
- mais de 3/4 possuem pista com 7,00 m ou mais de largura.

4.2.2 LARGURA DOS ACOSTAMENTOS

Foram identificadas oito larguras de acostamentos com as seguintes dimensões e ocorrências,

- largura de 0,00 m, em 21 trechos, correspondendo a 19,3% dos trechos;
- largura de 0,50 m, em 13 trechos, correspondendo a 11,9% dos trechos
- largura de 1,00 m, em 40 trechos, correspondendo a 36,7% dos trechos;
- largura de 1,20/1,25 m, em 7 trechos, correspondendo a 6,4% dos trechos;
- largura de 1,50 m, em 1 trecho, correspondendo a 0,9% dos trechos;
- largura de 1,90/2,00 m, em 20 trechos, correspondendo a 18,3% dos trechos;
- largura de 2,50 m, em 4 trechos, correspondendo a 3,7% dos trechos;
- largura de 2,90 m, em 3 trechos, correspondendo a 2,8% dos trechos;

mostrando que,

- cerca de 1/5 das rodovias não possuem acostamentos,
- quase 3/5 possuem acostamentos estreitos com menos de 1,50 m de largura,
- pouco mais de 1/5 possuem acostamentos com largura superior a 1,90 m.

4.3 CARACTERÍSTICAS DE RELEVO DAS RODOVIAS

4.3.1 SUBIDAS MAIS DESCIDAS

O parâmetro Subida Mais Descidas corresponde a uma medida agregada do gradiente vertical de uma rodovia. É definida como a soma dos valores absolutos das extensões de todos os trechos de uma rodovia, tanto em subida como em descida, dividida por sua extensão total e expressa em metros por quilômetro.

Da análise estatística dos 109 trechos rodoviários estudados no STPR é constatado que,

- em 35 trechos o parâmetro apresenta valores entre 0 e 10 m/km,

- em 67 trechos o parâmetro apresenta valores entre 10 e 40 m/km,
- e em 7 trechos o parâmetro apresenta valores entre 40 e 50 m/km,

demonstrando que,

- 32,1% das rodovias encontram-se em região plana,
- 61,5% das rodovias encontram-se em região ondulada,
- 6,4% das rodovias encontram-se em região montanhosa,
- sendo que o valor médio é de 22 m/km.

Resultados semelhantes são encontrados na análise de uma amostra de 24 trechos, com 1220,7 km de extensão em rotas pesquisadas para o relatório técnico elaborado pelo LASTRAN. Os trechos analisados demonstram, em termos quantitativos que,

- em 5 trechos o parâmetro apresenta valores entre 0 e 10 m/km,
- em 18 trechos o parâmetro apresenta valores entre 10 e 40 m/km,
- em 1 trecho o parâmetro apresenta valores entre 40 e 80 m/km,

indicando que,

- 20,8% das rodovias encontram-se em região plana,
- 75,0% das rodovias encontram-se em região ondulada,
- 4,2% das rodovias encontram-se em região montanhosa.

Em termos de extensão, são os seguintes os resultados,

- em 251,2 km o parâmetro apresenta valores entre 0 e 10 m/km,
- em 788,4 km o parâmetro apresenta valores entre 10 e 40 m/km,
- em 38,8 km o parâmetro apresenta valores entre 40 e 80 m/km,

ou seja,

- 20,6% das rodovias encontram-se em região plana,
- 76,6% das rodovias encontram-se em região ondulada,
- 3,2% das rodovias encontram-se em região montanhosa.

4.3.2 CURVATURA HORIZONTAL

O parâmetro Curvatura corresponde a uma medida agregada da curvatura horizontal da rodovia. É definida como a soma dos valores absolutos dos ângulos centrais das curvas horizontais dividida pela extensão da rodovia, sendo expresso em graus por quilômetro.

Nos estudos citados foram identificados os seguintes valores para o parâmetro Curvas Horizontais,

- em 39 trechos foram encontrados valores entre 0 e 50 °/km,
- em 70 trechos foram encontrados valores entre 50 e 150 °/km,
- sendo o valor médio de 75°/km.

Com base nos valores dos parâmetros Subida Mais Decida e Curvatura, pode-se afirmar que,

- pouco mais de 1/5 das rodovias estão em região plana,
- aproximadamente 3/4 estão situadas em região ondulada,
- somente 1 em cada 20 trechos das rodovias se situa em região montanhosa.

4.4 CARACTERÍSTICAS DO MEIO AMBIENTE

4.4.1 ALTITUDE

Foi identificado a seguinte distribuição de trechos em função de suas Altitudes,

- 46 trechos com altitude inferior a 200 m,
- 21 trechos com altitude entre 200 e 400 m,
- 13 trechos com altitude entre 400 e 600 m,
- 15 trechos com altitude entre 600 e 800 m,
- 16 trechos com altitude superior a 800 m,

indicando que

- a altitude média dos trechos de rodovias analisados é de 380 m.

4.4.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os valores médios mensais de Precipitação Pluviométrica são os seguintes,

- para 19 trechos, entre 100 e 125 mm,
- para 68 trechos, entre 125 e 150 mm,
- para 22 trechos, entre 150 e 175 mm,

indicando que,

- 4/5 dos trechos estão em ambiente sub-úmido,
- 1/5 estão em ambiente úmido,

- onde a precipitação pluviométrica média é de 139 mm por mês.

4.5 CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO

4.5.1 REVESTIMENTO

Os trechos pesquisados possuem a seguintes tipos de revestimentos de pavimento,

- 19 trechos em Pré-Misturado a Frio - PMF
  - com espessura média de 50 mm;
- 52 trechos em Tratamento Superficial Duplo - TSD
  - com espessura média de 30 mm;
- 38 trechos em Concreto Asfáltico - CBUQ
  - com espessura média de 50 mm.

São constatados também os seguintes fluxos de veículos para os diversos trechos com cada tipo de Revestimento,

- Pré-Misturado a Frio - PMF,
  - TMDA máximo - 2.825 veículos/dia,
  - TMDA médio - 1.266 veículos/dia,
  - TMDA mínimo - 333 veículos/dia,
- Tratamento Superficial Duplo - TSD,
  - TMDA máximo - 6.167 veículos/dia,
  - TMDA médio - 1.383 veículos/dia,
  - TMDA mínimo - 99 veículos/dia,
- Concreto Asfáltico - CBUQ,
  - TMDA máximo - 7.828 veículos/dia,
  - TMDA médio - 2.967 veículos/dia,
  - TMDA mínimo - 263 veículos/dia.

4.5.2 TIPO DE BASE

Os trechos pesquisados apresentam os seguintes tipos de base para o pavimento,

- 70 trechos com brita graduada,
- 15 trechos com macadame hidráulico,

- 23 trechos com outros tipos,

indicando que,

- 4/5 dos trechos pode ser classificado como base granular,
- 1/5 restante como Base de outros tipos.

4.5.3 ESPESSURA DA BASE

Os trechos pesquisados apresentam a seguinte distribuição de espessuras de base,

- 3 trechos com espessura entre 0 e 10 cm,
- 30 trechos com espessura entre 10 e 20 cm,
- 46 trechos com espessura entre 20 e 30 cm,
- 29 trechos com espessura entre 30 e 40 cm,
- 1 trecho com espessura entre 40 e 50 cm,

indicando que,

- cerca de 3/4 dos trechos possui espessura inferior a 30cm,
- a espessura média das Bases é de 25 cm.

4.5.4 SUPORTE DO SUBLEITO

A distribuição dos valores do índice de suporte califórnia (CBR) para os trechos avaliados é de,

- 11 trechos com CBR entre 5 e 8,
- 86 trechos com CBR entre 8 e 12,
- 12 trechos com CBR entre 12 e 15,

indicando que,

- 1/10 dos trechos apresenta valor de CBR baixo e inferior a 8,
- 8/10 apresenta valor de CBR médio com valores entre 8 e 12 ,
- 1/10 apresenta valor de CBR alto igual ou superior a 12,

sendo,

- o valor médio de CBR para os trechos analisados é de 10.

4.5.5 NÚMERO ESTRUTURAL

O Número Estrutural é uma medida de resistência do pavimento que sintetiza as interações entre os diferentes materiais que o compõem. Para os trechos pesquisados os valores médios estimados para cada tipo de revestimento são,

- pré-misturado a frio - PMF Nest = 1,4
- tratamento superficial duplo - TSD Nest = 1,7
- concreto asfáltico - CBUQ Nest = 1,9

sendo para todas as rodovias,

- número estrutural médio Nest = 1,7

4.5.6 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

A Irregularidade Longitudinal indica o desvio da superfície do pavimento no sentido longitudinal do mesmo. É expresso através do Índice Internacional de Irregularidade - *International Roughness Index*- IRI, em metros por quilômetro, e os valores medidos para os trechos do STPR, estão assim distribuídos,

- 15 trechos com IRI entre 2,4 e 3,0 m/km,
- 46 trechos com IRI entre 3.0 e 4,0 m/km,
- 32 trechos com IRI entre 4,0 e 5,0 m/km,
- 9 trechos com IRI entre 5,0 e 6,0 m/km,

demonstrando que,

- 56% dos trechos se encontram razoavelmente liso,
- 37% dos trechos se encontram medianamente irregular,
- 7% dos trechos se encontram irregulares,

sendo,

- o IRI médio para todos os trechos é de 4,0 m/km.

4.5.7 ÁREA TOTAL TRINCADA

A área total trincada corresponde à área de trincas largas e estreitas do revestimento e expressa em percentagem da área da pista de rolamento. Os valores medidos para os trechos do STPR, estão assim distribuídos,

- 1 trecho com área total trincada entre 0 e 10%,

- 22 trechos com área total trincada entre 10 e 20%,
- 0 trechos com área total trincada entre 20 e 30%,
- 57 trechos com área total trincada entre 30 e 40%,
- 24 trechos com área total trincada entre 40 e 50%,
- 0 trechos com área total trincada entre 50 e 60%
- 5 trechos com área total trincada entre 60 e 70%,

indicando que,

- 21% dos trechos apresentam poucos defeitos,
- 74% dos trechos apresentam defeitos médios,
- 5% dos trechos apresentam defeitos graves,

sendo,

- a área total trincada média corresponde a 35% da área da pista de rolamento.

4.5.8 ÁREA ESBURACADA

Corresponde à área com buracos ou panelas abertas na superfície do pavimento cujas características incluem uma dimensão com mais de 150 mm de diâmetro e 25 mm de profundidade, sendo expressa em percentagem da área da pista. Rodovias em mal estado de conservação e muito esburacadas têm valores para Área Esburacada em torno de 1%, sendo que os valores para os trechos pesquisados ficaram em torno de 0%.

4.5.9 ÁREA DESGASTADA

Corresponde à área com material perdido com o desgaste da superfície de rolamento e expressa em percentagem da área da pista. Para os trechos pesquisados não foram encontrados valores significativos para este parâmetro.

4.5.10 AFUNDAMENTO DE TRILHA

Corresponde ao afundamento máximo na trilha de rodas e os valores obtidos para os trechos são,

- 7 trechos com valores de afundamento de trilha entre 0 e 10 mm,
- 51 trechos com valores de afundamento de trilha entre 10 e 20 mm,
- 41 trechos com valores de afundamento de trilha entre 20 e 30 mm,

- 10 trechos com valores de afundamento de trilha entre 30 e 40 mm,

indicando que,

- 6% dos trechos possuem afundamento de trilha baixo,
- 84% dos trechos possuem afundamento de trilha alto,
- 10% dos trechos possuem afundamento de trilha muito alto,

sendo,

- o valor médio do afundamento de trilha é de 20 mm.

Esta situação sugere a adoção do valor do parâmetro desvio padrão dos afundamentos igual ou superior a 6 mm ou mais.

4.5.11 IDADE DO REVESTIMENTO

O levantamento dos trechos analisados pelo STPR, apresenta as seguintes idades dos revestimentos,

- 27 trechos com idade entre 0 e 10 anos,
- 38 trechos com idade entre 10 e 20 anos,
- 36 trechos com idade entre 20 e 30 anos,
- 7 trechos com idade entre 30 e 40 anos,
- 1 trecho com idade entre 40 e 50 anos,

indicando que,

- 1/4 dos trechos tem revestimento com menos de 10 anos de idade,
- 3/4 dos trechos tem revestimento com idade superior a 10 anos,

sendo,

- a idade média dos revestimentos é de 17 anos.

— CAPÍTULO 5 —

CUSTOS DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA

ESTIMATIVA DOS CUSTOS - CUSTOS UNITÁRIOS DA CONSERVAÇÃO DO PAVIMENTO

5.1 INTRODUÇÃO

Na formação dos custos do transporte rodoviário inúmeros são os fatores que concorrem de forma direta e indireta no processo de composição final das estimativas de custos. A composição final exige cálculo de grande complexidade e estes custos são costumeiramente divididos em seis grandes grupos que reúnem valores representativos de atividades afins, ou decorrentes de intervalos ou períodos de desembolso, ou mesmo de determinado interesse. Estes grupos estão relacionados a seguir juntamente com os subgrupos específicos.

Custos de Construção

Os custos de construção abrangem as os valores despendidos,

- nos estudos preliminares e projetos,
- nas desapropriações,
- na terraplenagem,
- na drenagem,
- nas obras de arte,
- nos túneis,
- no pavimento,
- na sinalização.

Custos de Manutenção

Os custos de manutenção abrangem os serviços relativos,

- à faixa de domínio,
- à drenagem,
- à sinalização,

- ao pavimento,
- às obras de arte.

Custos de Operação

Os custos de operação abrangem os serviços relativos,

- ao gerenciamento do tráfego,
- aos sistemas de segurança,
- aos seguros,
- à assistência mecânica,
- à assistência médica.

Custos Dos Usuários

Os custos dos usuários abrangem os custos relativos,

- à operação dos veículos,
- aos seguros,
- aos acidentes,
- aos custos decorrentes dos atrasos.

Custos Sociais

Os custos sociais abrangem os custos relativos,

- à poluição atmosférica,
- à poluição sonora,
- aos acidentes.

Outros Custos

Existem outros valores que abrangem os custos relativos,

- às obras civis,
- à remuneração de capital,
- às operações financeiras,
- aos tributos,
- aos riscos e incertezas do empreendimento.

5.2 CUSTOS DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA

No âmbito deste trabalho são considerados somente as parcelas relativas aos custos da manutenção da rodovia, as quais, após suas estimativas são divididas e alocadas aos diferentes veículos que compõem o tráfego.

A estimativa dos custos envolvidos na manutenção é bastante complexa, envolve um grande número de variáveis que se encontram sujeitas ao processo de evolução tecnológica, ao aperfeiçoamento dos métodos de gerenciamento e ao nível crescente das exigências dos usuários. Estes fatores, agindo conjunta ou isoladamente, alteram suas importâncias relativas uns em aos outros ocasionando uma alteração direta na composição dos custos e diversificando os procedimentos adotados para a base do cálculo.

Em decorrência do acima exposto, agravado pelo fato de que até algum tempo a maioria dos serviços relativos às atividades de conservação era quase que totalmente realizados de forma direta pelos dos órgãos rodoviários adotando procedimentos para determinação dos custos valendo-se muitas vezes da simples fixação de valores anuais por quilômetro de rodovia, foram sendo deixados de lado os procedimentos técnicos mais apurados em detrimento das experiências particulares dos técnicos dos órgãos gestores.

Na prática existiam (e ainda são adotados em algumas ocasiões) valores globais de conservação representativos de "**o quanto está sendo gasto**", ao invés de "**o quanto deve ser gasto**" para prover as necessidades de conservação das rodovias. Estes são, na realidade, valores aproximados que foram incorporados pelos administradores do setor em função de experiências de montantes de recursos despendidos no passado sendo ainda sistemática e indiscriminadamente aceitos.

Contudo, a obsolescência operacional dos órgãos rodoviários, descrita por SCHLIESSLER (1994) em estudo relativo aos países em desenvolvimento no final da década de 1980, decorrente da total falta de recursos orçamentários, e por indicação dos agentes internacionais de financiamento, as obras e serviços de conservação estão começando a ser executadas através de contratos de gestão. Estas iniciativas foram observadas por ZIETLOW (2000) e TIZZOT (2000) como forma alternativa de tutelar o gerenciamento através da ação de empresas contratadas para o cumprimento de cronogramas de execução preestabelecidos em regime de acompanhamento sistemático das atividades e criteriosa avaliação de desempenho das rodovias.

Este no tipo de contratação certamente promoverá um incremento no que tange a compreensão da efetiva necessidade dos diferentes serviços envolvidos, e, principalmente, a relação deles com o nível de utilização da rodovia ao longo do tempo, uma vez que as empresas serão estimuladas a aprimorar suas técnicas e a buscar soluções de melhor qualidade de durabilidade, ao invés de simplesmente executarem volumes predeterminados de obras.

5.3 ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

5.3.1 CUSTOS ESTIMADOS NO MEET

MacDowell, (1992) apresenta no seu Manual de Engenharia Econômica - Campo de Aplicação: Transporte Rodoviário, MEET, uma sistemática para estimativa de valores para diversas operações de conservação. O resumo dos custos por ele estimados, acrescidos de uma parcela correspondente à bonificação e despesas indiretas, BDI, equivalente a 45% dos valores, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - **CUSTOS MÉDIOS DE CONSERVAÇÃO**

Operação	Custo	Unidade
Remendos	13,06	US$ / m^2
Capa Selante	1,04	US$ / m^2
Acostamentos (10% da pista de rolamento)	346,25	US$ / km / ano
Drenagem em Região Plana	675,44	US$ / km / ano
Drenagem em Região Ondulada	420,17	US$ / km / ano
Drenagem em Região Montanhosa	255,27	US$ / km / ano
Faixa de Domínio	288,46	US$ / km / ano
Controle de Erosão em Região Plana	187,78	US$ / km / ano
Controle de Erosão em Região Ondulada	465,68	US$ / km / ano
Controle de Erosão em Região Montanhosa	916,37	US$ / km / ano
Sinalização	976,81	US$ / km / ano

Fonte : Mac Dowell, (DAER, 1992).

5.3.2 CUSTOS ESTIMADOS NO PECR

No Rio Grande do Sul, para a elaboração do PECR - Programa Estadual de Concessões de Rodovias (1997), foram realizados extensos levantamentos das reais condições das principais rodovias do Estado. Um grande contingente de engenheiros e técnicos procedeu ao levantamento detalhado das condições reais de cada tipo de obra em quase 3.000 km de rodovias. Posteriormente foram quantificados os serviços necessários tanto à correção das condições das mesmas, como os custos e procedimentos necessários à conservação destas obras ao longo tempo.

Com a elaboração desses levantamentos foi possível estimar em fevereiro de 1996 as quantias necessárias para a conservação destes trechos dentro das premissas técnicas e dos indicadores de qualidade dos contratos da concessão. Os valores apresentados nos estudos estão reduzidos a cinco grandes grupos que concentram as intervenções necessárias à conservação da malha rodoviária.

Os grupos identificados no PECR são os seguintes,

- Terraplenagem,
- Pavimentação,
- Sinalização,
- Drenagem e Obras de Arte Correntes,
- Obras de Arte Especiais,
- Obras e Serviços Complementares.

Cada um destes grupos engloba uma ou mais operações de conservação, sendo que a seguir, os referidos itens são relacionados com as operações respectivas com a indicação da correspondência a cada grupo específico.

Terraplenagem

Neste grupo são encontrados procedimentos,

- de Conservação Rotineira somente na,
  - reconformação da plataforma não pavimentada.

Pavimentação

Neste grupo são encontradas,

- na Conservação Rotineira as operações de,
  - selagem de trincas,
  - combate a exudação.
- nos Remendos as operações de,
  - remendos superficiais ou tapa-buracos,
  - remendos profundos.
- na Recuperação Superficial ou Recarga as operações de,
  - lama asfáltica,
  - capa selante,

- tratamento superficial.

- no Reforço Estrutural a operação de,
  - recapeamento com CBUQ.

Sinalização

Neste grupo são encontradas,

- na Conservação Rotineira as operações de,
  - recomposição da sinalização horizontal,
  - recomposição da sinalização vertical.

Foram também incluídos os custos referentes à reabilitação da sinalização existente que, em geral, se apresentava em estado precário de conservação e, em muitos casos, com sinalização praticamente inexistente.

Drenagem e Obras de Arte Correntes

Neste grupo são encontradas,

- na Conservação Preventiva Periódica as operações de,
  - limpeza de bueiros,
  - limpeza de bocas de drenos.
- na Conservação Rotineira as operações de,
  - recomposição de obras de drenagem superficial,
  - recomposição de obras de drenagem profunda,
  - recomposição de obras de arte correntes.

Obras de Arte Especiais

Neste grupo são encontradas,

- na Conservação Preventiva Periódica as operações de,
  - limpeza e pintura de pontes,
  - limpeza e enchimento de juntas.
- na Conservação Rotineira as operações de,
  - recomposição de guarda-corpos.

Além destas operações previstas no Manual de Pavimentação (DNER,1996) e nos custos estimados no PECR, estão ainda incluídas as operações de recuperação dos elementos estruturais, a saber,

- longarinas, transversinas e lajes da super-estrutura,
- pilares, travessas, encontros e aparelhos de apoio, da meso-estrutura,
- sapatas, blocos, tubulões e estacas da infra-estrutura.

Obras e Serviços Complementares

Neste grupo são encontradas,

- na Conservação Preventiva Periódica as operações de,
  - limpeza de sarjetas e meios-fios,
  - limpeza manual de valetas,
  - roçadas,
  - capina.
- na Conservação Rotineira as operações de,
  - recomposição de cercas,
  - recomposição de defensas metálicas,
  - recomposição de telas anti-ofuscantes,
  - controle de erosão.

Também neste grupo foram consideradas as operações de,

- implantação e recuperação de obras de contenção,
- recuperação de iluminação,
- obras civis diversas.

Da análise da documentação de cada um dos nove Pólos Rodoviários que fazem parte do PECR foram extraídos os custos estimados para cada um dos grupos de obras e serviços para os 15 anos previstos de concessão, cuja elaboração se procedeu no mês de fevereiro de 1996.

Terraplenagem

Em dois dos nove pólos de concessão rodoviária, pólos Gramado e Lajeado, não foram identificados gastos em terraplenagem. Os custos identificados apresentaram valores entre 0 e 31.850 US$/km, sendo que o valor médio para esta tarefas é de 4.843 US$/km de rodovia.

A tabela 2 apresenta o resumo dos valores dos recursos necessários aos serviços de terraplenagem nos diverso pólos estudados.

Tabela 2 - **CUSTOS DA TERRAPLENAGEM**

Pólo Rodoviário	Extensão (km)	Custo Total (US$ x 103)	Custo / km (US$ / km)
Pelotas	551,50	1981	3.592
Metropolitano	805,00	1380	1.714
Caxias do Sul	173,75	283	1.629
Vacaria	132,76	237	1.785
Gramado	131,97	-	-
Carazinho	250,40	225	0.899
Santa Maria	256,20	8.160	31.850
Santa Cruz	196,83	417	2.121
Lajeado	318,80	-	-
		Custo Médio	**4.843**

Fonte: PECR (1997).

Pavimentação

Os valores referentes à pavimentação incluem a totalidade dos serviços necessários à conservação da pista de rolamento e acostamentos. Não foi possível, em função da documentação reduzida disponível, fazer-se uma divisão mais detalhada dos custos das diversas operações envolvidas. Os custos identificados apresentam valores entre 54.853 e 320.374 US$/km, sendo que o valor médio para esta tarefas é de 166.407 US$/km de rodovia.

A tabela 3 apresenta o ressumo dos valores dos recursos necessários aos serviços de terraplenagem nos diverso pólos estudados.

Tabela 3 - **CUSTOS DA PAVIMENTAÇÃO**

Pólo Rodoviário	Extensão (km)	Custo Total (US$ x 10^3)	Custo / km (US$ / km)
Pelotas	551,50	75.064	136.109
Metropolitano	805,00	73.876	91.771
Caxias do Sul	173,75	55.665	320.374
Vacaria	132,76	32.105	241.827
Gramado	131,97	7.239	54.853
Carazinho	250,40	41.016	163.802
Santa Maria	256,20	39.080	152.537
Santa Cruz	196,83	47.007	238.818
Lajeado	318,80	31.105	97.569
		Custo Médio	**166.407**

Fonte : PECR (1997).

Sinalização

Os valores referentes à sinalização incluem a totalidade dos serviços necessários à implantação e conservação da sinalização vertical e horizontal das rodovias. Não foram

identificados os custos referentes às distintas operações envolvidas, sendo, portanto apresentados apenas os valores totais para a sinalização. Os custos identificados apresentam valores entre 20.024 e 125.945 US$/km, sendo que o valor médio para as tarefas é de 50.845 US$/km de rodovia.

A tabela 4 apresenta o ressumo dos valores dos recursos necessários aos serviços de pavimentação nos diverso pólos estudados.

Tabela 4 - **CUSTOS DA SINALIZAÇÃO**

Pólo Rodoviário	Extensão (km)	Custo Total (US$ x 10^3)	Custo / km (US$ / km)
Pelotas	551,50	28.151	51.044
Metropolitano	805,00	28.790	35.764
Caxias do Sul	173,75	21.883	125.945
Vacaria	132,76	4.643	34.973
Gramado	131,97	6.082	46.086
Carazinho	250,40	5.014	20.024
Santa Maria	256,20	9.118	35.589
Santa Cruz	196,83	12.690	64.474
Lajeado	318,80	13.932	43.701
		Custo Médio	**50.845**

Fonte: PECR (1997).

Drenagem e Obras de Arte Correntes

Os custos referentes à drenagem e obras de arte correntes apresentam valores entre 1.124 e 16.594 US$/km, sendo que o valor médio para as tarefas é de 7.034 US$/km de rodovia. A tabela 5 apresenta o ressumo dos valores dos recursos necessários aos serviços de pavimentação nos diverso pólos estudados.

Tabela 5 - **CUSTOS DA DRENAGEM E OBRAS DE ARTE CORRENTES**

Pólo Rodoviário	Extensão (km)	Custo Total (US$ x 10^3)	Custo / km (US$ / km)
Pelotas	551,50	3.373	6.116
Metropolitano	805,00	3.102	3.853
Caxias do Sul	173,75	1.313	7.557
Vacaria	132,76	2.203	16.594
Gramado	131,97	1.038	7.865
Carazinho	250,40	2.370	9.465
Santa Maria	256,20	288	1.124
Santa Cruz	196,83	1.331	6.761
Lajeado	318,80	1.265	3.968
		Custo Médio	**7.034**

Fonte: PECR (1997).

Obras de Arte Especiais

Os custos referentes a obras de artes especiais apresentam valores entre 712 e 11.246 US$/km, sendo que o valor médio para as tarefas é de 3.436 US$/km de rodovia.

A tabela 6 apresenta o ressumo dos valores dos recursos necessários aos serviços de pavimentação nos diverso pólos estudados.

Tabela 6 - **CUSTOS DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

Pólo Rodoviário	Extensão (km)	Custo Total (US$ x 10^3)	Custo / km (US$ / km)
Pelotas	551,50	6.202	11.246
Metropolitano	805,00	2.342	2.909
Caxias do Sul	173,75	306	1.761
Vacaria	132,76	589	4.437
Gramado	131,97	94	712
Carazinho	250,40	579	2.312
Santa Maria	256,20	328	1.280
Santa Cruz	196,83	960	4.878
Lajeado	318,80	444	1.393
		Custo Médio	**3.436**

Fonte: PECR (1997).

Obras e Serviços Complementares

Os custos referentes a obras e serviços complementares, incluindo todas as operações anteriormente indicadas apresentam valores entre 2.048 e 97.767 US$/km, sendo que o valor médio para as tarefas é de 22.176 US$/km de rodovia.

A tabela 7 apresenta o ressumo dos valores dos recursos necessários aos serviços de pavimentação nos diverso pólos estudados.

Tabela 7 - **CUSTOS DAS OBRAS E SERVIÇOS COMPLEMENTARES**

Pólo Rodoviário	Extensão (km)	Custo Total (US$ x 10^3)	Custo / km (US$ / km)
Pelotas	551,50	1.655	3.001
Metropolitano	805,00	1.649	2.048
Caxias do Sul	173,75	16.987	97.767
Vacaria	132,76	1.113	8.384
Gramado	131,97	945	7.161
Carazinho	250,40	8.423	33.638
Santa Maria	256,20	7.408	28.915
Santa Cruz	196,83	2.676	13.596
Lajeado	318,80	1.617	5.072
		Custo Médio	**22.176**

Fonte: PECR (1997).

5.3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS VALORES DO PECR

É importante que sejam feitas algumas considerações sobre o volume das obras quantificadas no PECR e os custos delas decorrentes. Uma vez que o PECR possui como premissa não só a manutenção das rodovias durante o período de concessão que é de 15 anos, mas também a necessidade de implementação de uma reabilitação inicial das mesmas decorrente do uso anterior, bem como financiar intervenções no final do período concessionário, o que permitirá que estas rodovias apresentem pelo menos durante mais sete anos após o término da concessão, condições adequadas de conservação e de tráfego.

De acordo com estas premissas, alguns valores apresentados incluem parcelas referentes a despesas necessárias à correção dos problemas decorrentes da total ausência de conservação anterior, bem como inclui as despesas necessárias para oferecer uma "sobrevida" a estas rodovias após o término da concessão. Assim, os de algumas parcelas são mais elevados do que os valores anuais efetivamente necessários.

Isto é percebido mais acentuadamente nos grupos Pavimentação e Sinalização, pois são os que, mesmo com as intervenções rotineiras, necessitam investimentos concentrados de tempos em tempos para correção e adequação de suas condições. Nos demais grupos o impacto deste custo não é muito percebido, uma vez que se tratam basicamente de intervenções rotineiras que não podem ser feitas com antecedência, mas executadas à medida que vão sendo necessários.

Para a determinação dos gastos anuais de forma mais precisa, seria necessário uma análise mais profunda e pormenorizada dos projetos que complementam o PECR, identificando o quanto de cada operação se destina aos problemas rotineiros e o quanto aos problemas que surgirão posteriormente ao término do período de concessão. Tal procedimento não foi feito, primeiro por não ser possível executar esta diferenciação quantitativa com a documentação disponível e em segundo lugar por ser desnecessária uma precisão tão acentuada, uma vez que são utilizados não os valores específicos de um determinado trecho, mas os valores médios para os quase 3.000 km de rodovias. Além disso, os valores para as operações dos grupos Pavimentação e Sinalização são estimados a partir de fontes diferentes, o que impede a elaboração de resultados padronizados.

Os valores determinados no grupo Pavimentação, por exemplo, não podem ser utilizados diretamente, uma vez que neste grupo estão incluídas todas as operações conjuntamente. O mesmo se sucede com o grupo Sinalização, cujos custos englobam todas as

operações de sinalização, vertical e horizontal, não distinguindo as parcelas referentes a uma ou outra. A necessidade de uma melhor identificação dos custos parciais envolvidos se deve ao fato de que quando as operações de recapeamento ou restauração são implementadas a sinalização horizontal é inutilizada, devendo ser refeita quase que integralmente ao término da obra.

Na tabela 8 são apresentados os valores médios, totais e anuais dos custo dos diferentes grupos de operações de conservação, bem como, suas correspondentes participações relativas no conjunto.

Tabela 8 - **CUSTOS MÉDIOS ANUAIS**

Grupo de Operações	Custo Total (US$ / km)	Custo Anual (US$/km/ano)	Participação (%)
Terraplenagem	4.843	322,87	2,61
Pavimentação (*)	166.407	7.563,95	61,13
Sinalização (*)	50.845	2.311,14	18,68
Drenagem e Obras de Arte Correntes	7.034	468,93	3,79
Obras de Arte Especiais	3.436	229,07	1,85
Obras e Serviços Complementares	22.176	1.478,40	11,95
Totais	**254.741**	**12.374.36**	**100,00**

Fonte: PECR (1997).
(*) - Valores ajustados para 22 anos.

5.3.4 CUSTOS ESTIMADOS NO STPR

Em setembro de 1995 foi elaborado o estudo intitulado " STPR - Seleção de Trechos Prioritários para Restauração com Aplicação do HDM III" (ECOPLAN, 1995). Trata-se de importante relatório técnico onde, de forma sintética, são apresentados os elementos intervenientes para seleção de trechos prioritários para restauração com utilização do HDM III a partir de uma amostra de prioridades constituída de 109 rodovias estaduais.

Para o desenvolvimento do STPR foram estabelecidos custos para as operações de conservação a fim de serem previstas e comparadas as diferentes estratégias de atuação permitidas pelo HDM III, verificando sua aplicabilidade.

Os custos foram estimados com base em preços de mercado e a tabela 9 apresenta resumidamente os valores das operações previstas.

Tabela 9 - **CUSTO UNITÁRIO DAS OPERAÇÕES**

Operação	Custo
Sinalização Horizontal - (somar ao recapeamento e restauração) (*)	0,78
Remendos	15,33
Lama Asfáltica - 2 mm	1,50
Lama Asfáltica - 4 mm	2,05
Tratamento Superficial Duplo + Capa Selante	3,83
Recapeamento CBUQ - 30 mm (**)	4,70
Recapeamento CBUQ - 40 mm	6,01
Recapeamento CBUQ - 50 mm	6,91
Recapeamento CBUQ - 60 mm	8,06
Recapeamento CBUQ - 80 mm	10,31
Recapeamento CBUQ - 100 mm	13,42
Recapeamento CBUQ - 120 mm	15,16

Fonte: STPR (ECOPLAN, 1995).
Valores expressos em US$/m^2.
(*) - Valor estimado para pista de rolamento com 7,20 m de largura.
(**) - Valor estimado a partir dos demais.

5.3.5 RESUMO DOS CUSTOS DAS OPERAÇÕES DE CONSERVAÇÃO

A partir dos estudos acima citados, apresentamos na tabela 10 de forma resumida os valores dos principais custos de operacionais dos referentes grupos de operações.

Tabela 10 - **RESUMO DOS CUSTOS DAS OPERAÇÕES**

Grupo de Operações	Unidade	MEET	PECR	STPR
Terraplanagem	US$/km/ano	-	322,87	-
Controle de Erosão Reg. Plana	US$/km/ano	187,78	-	-
Controle de Erosão Reg. Ondulada	US$/km/ano	465,68	-	-
Controle de Erosão Reg. Montanhosa	US$/km/ano	916,81	-	-
Pavimentação - Pista +Acostamentos	US$/km/ano	-	7.563,95	-
Acostamentos (*)	US$/km/ano	346,25	687,63	-
Remendos	US$/m^2	13,06	-	15,33
Capa Selante	US$/m^2	1,04	-	-
Lama Asfáltica	US$/m^2	-	-	1,50
Lama Asfáltica	US$/m^2	-	-	2,05
Trat. Superficial + Capa Selante	US$/m^2	-	-	3,83
Recapeamento CBUQ - 30 mm	US$/m^2	-	-	4,70
Recapeamento CBUQ - 40 mm	US$/m^2	-	-	6,01
Recapeamento CBUQ - 50 mm	US$/m^2	-	-	6.91
Recapeamento CBUQ - 60 mm	US$/m^2	-	-	8,06
Recapeamento CBUQ - 80 mm	US$/m^2	-	-	10,31
Recapeamento CBUQ - 100 mm	US$/m^2	-	-	13,42
Recapeamento CBUQ - 120 mm	US$/m^2	-	-	15,16
Sinalização	US/km/ano	976,81	2.311,14	-
Sinalização (**)	U$/m^2	-	-	0,78
Drenagem e OAC - Região Plana	US/km/ano	675,44	468,93	-
Drenagem e OAC - Região Ondulada	US$/km/ano	420,17	468,93	-
Drenagem e OAC - Região Montanhosa	US$/km/ano	255,46	468,93	-
Obras de Arte Especiais	US$/km/ano	-	229,07	-
Obras e Serviços Complementares	US$/km/ano	-	1.478,40	-

(*) - Valores estimados em 10% dos gastos na pista de rolamento.
(**) - Somar ao Recapeamento.

5.4 CUSTOS UNITÁRIOS DA CONSERVAÇÃO DO PAVIMENTO

O custo de conservação do pavimento é determinado a partir dos resultados obtidos com as simulações no HDM-III. Para tanto, são procedidas simulações onde os valores dos custos das operações de conservação do pavimento são compostos pela soma dos custos dos referentes à pavimentação, acostamentos e a uma parcela da sinalização horizontal.

Especificamente a parcela relativa aos acostamentos é assumida, de forma semelhante à encontrada em MAC DOWELL (1992), como sendo equivalente a 10% dos valores gastos na pista de rolamento. A da sinalização horizontal perfaz um valor correspondente a 0,78 US$/m^2.

Os valores finais assumidos para cada operação são os abaixo relacionados,

- remendos na
  - pista - 15,33 US$/m^2,
  - acostamentos - 1,53 US$/m^2,
  - total - 16,86 US$/m^2,
- lama asfáltica,
  - pista - 2,05 US$/m^2,
  - acostamentos - 0,21 US$/m^2,
  - sinalização - 0,78 US$/m^2,
  - total - 3,04 US$/m^2,
- recapeamento 30 mm,
  - pista - 4,70 US$/m^2,
  - acostamentos - 0,47 US$/m^2,
  - sinalização - 0,78 US$/m^2,
  - total - 5,95 US$/m^2,
- recapeamento 40 mm,
  - pista - 6,01 US$/m^2,
  - acostamento - 0,60 US$/m^2,
  - sinalização - 0,78 US$/m^2,
  - total - 7,39 US$/m^2,
- recapeamento 60 mm,
  - pista - 8,06 US$/m^2,
  - acostamento - 0,81 US$/m^2,

- sinalização - 0,78 US$/m^2,
- total - 9,65 US$/m^2,

- recapeamento 80 mm,
  - pista - 10,31 us$/m^2,
  - acostamento - 1,03 us$/m^2,
  - sinalização - 0,78 US$/m^2,
  - total - 12,12 US$/m^2,
- recapeamento 120 mm,
  - pista - 15,16 US$/m^2,
  - acostamento - 1,52 US$/m^2,
  - sinalização - 0,78 US$/m^2,
  - total - 17,46 US$/m^2.

– CAPÍTULO 6 –

TRÁFEGO DE VEÍCULOS

VEÍCULOS DE CARGA - CARACTERÍSTICAS - OCUPAÇÃO DA VIA - IMPACTO DO PAVIMENTO - VEICULO PESADO REPRESENTATIVO

6.1 INTRODUÇÃO

Para a apropriação dos custos de manutenção é importante o conhecimento, não só, das características das rodovias, mas também, das características dos veículos que nela trafegam, especialmente no que diz respeito ao peso e número de eixos desses veículos.

Neste capítulo são analisadas as características dos fluxos de veículos que trafegam pelas principais rodovias do Rio Grande do Sul com base nos levantamentos efetuados para a elaboração do PECR.

6.2 CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS DE CARGA

O HCM - Highway Capacity Manual (1997), compara fundamentalmente o desempenho dos diferentes veículos de transporte de cargas com o dos automóveis levando em conta as diferentes condições topográficas de desenvolvimento da via por onde eles trafegam. O HDM III permite utilizar, em suas simulações, quatro categorias de veículos de transporte de cargas, as quais são relacionadas como,

- caminhão leve,
- caminhão médio,
- caminhão pesado,
- caminhão articulado.

Os órgãos rodoviários brasileiros utilizam também quatro categorias de veículos de carga assim designadas,

- caminhão leve,
- caminhão médio,
- caminhão pesado,

- caminhão super-pesado.

Diante da diversidade de veículos de carga existentes, do número de categorias de classificação e dos diversos limites de peso possíveis para cada combinação, fica bastante difícil a construção de uma composição de tráfego pesado que contemple a diversidade de veículos e classificações existentes em função da equivalência de capacidade de ação danosa sobre o pavimento.

Alguns elementos, oriundos de especificações e levantamentos distintos, são possíveis de serem combinados na determinação de valores de pesos de veículos enquanto adequados às classificações citadas. Com efeito, conforme PEREIRA (1985), quando combinados os pesos máximos legais, as categorias predominantes de carregamentos sobre as vias e as classificações existentes dos tipos de veículos é possível compor a seguinte segmentação para os diferentes veículos de carga,

- caminhão leve, com 2 eixos, classificação **2 C**,
  - eixo dianteiro - simples de rodas simples,
  - eixo traseiro trator - simples de rodas duplas,
- caminhão médio, com 3 eixos, classificação **3 C**,
  - eixo dianteiro - simples de rodas simples,
  - eixo traseiro trator - tandem duplo de rodas duplas,
- caminhão articulado pesado, com 4 eixos, classificação **2 S 2**,
  - eixo dianteiro - simples de rodas simples,
  - eixo traseiro trator - simples de rodas duplas,
  - eixo traseiro articulado - tandem duplo de rodas duplas,
- caminhão articulado super-pesado, com 5 eixos, classificação **2 S 3**,
  - eixo dianteiro - simples de rodas simples,
  - eixo traseiro trator - simples de rodas duplas,
  - eixo traseiro articulado - tandem triplo de rodas duplas.

6.3 CARACTERÍSTICAS DO FLUXO DE VEÍCULOS

Para proceder ao cálculo de avaliação da capacidade de degeneração do pavimento é necessária a quantificação da freqüência de circulação de cada tipo de veículo de carga pela rodovia. Para tanto são necessários acompanhamentos periódicos com contagem e classificação do fluxo de veículos, registrando-os adequadamente.

6.3.1 PESQUISA DE TRÁFEGO NAS RODOVIAS

Desde 1994 o DAER, não divulga os levantamentos de tráfego classificado das rodovias do Rio Grande do Sul, fato que dificulta qualquer tentativa de análise mais profunda destas importantes informações. Para o desenvolvimento do presente trabalho foram adotadas as contagens classificatórias de veículos de alguns dos trechos incluídos no PECR.

Os trechos pesquisados foram,

- **Pólo Vacaria,**
  - BR 116 Vacaria / Divisa com Santa Catarina,
  - BR 116 Vacaria / Campestre da Serra,
  - BR 285 Vacaria / Lagoa Vermelha,
- **Pólo Santa Maria,**
  - BR 287 Santa Maria / São Vicente,
  - BR 392 Santa Maria / J. de Castilhos,
  - BR 290 Santa Maria / Entroncamento com a BR 153,
  - RST 287 Santa Maria / Cerro Branco,
  - BR 392 Santa Maria / São Sepé,
- **Pólo Estrela - Lajeado,**
  - RS 130 Lajeado / Dois Lajeados,
  - BR 386 Estrela / Entroncamento com RST 287,
  - RST 453 Estrela / Garibaldi,
  - BR 386 Lajeado / Arroio Tatim,
- **Pólo Caxias do Sul,**
  - BR 116 Caxias do Sul / Campestre da Serra,
  - BR 116 Caxias do Sul / Nova Petrópolis,
  - RS 122 Caxias do Sul / São Vendelino,

A tabela 11 resume a relação dos trechos e as respectivas contagens efetuadas na ocasião da elaboração do Programa de Concessões, sendo o tráfego médio diário anual, TMDA, correspondente aos dois sentidos de fluxo.

Tabela 11 - **RESUMO DA PESQUISA DE TRÁFEGO DO PECR - RS**

Rodovia	Trecho	Passeio	Leves	Médio	Articulado	Articulado	Pesado	Total
		2 eixos	2 eixos	3 eixos	4 eixos	5 eixos		
BR 116	Vacaria/Div. Santa Catarina	1.652	482	654	92	624	1.852	3.504
BR 116	Vacaria/Campestre da Serra	2.148	228	586	46	524	1.384	3.532
BR 285	Vacaria/Lagoa Vermelha	1.644	192	224	10	142	568	2.212
BR 287	Santa Maria/São Vicente	1.698	266	270	32	246	814	2.512
RS 130	Lajeado/Dois Lajeados	2.176	582	238	74	64	958	3.134
BR 386	Estrela/Entronc. RST 287	4.498	1.016	886	34	532	2.468	6.966
RST 453	Estrela/Garibaldi	1.304	502	344	18	216	1.080	2.384
BR 386	Lajeado/Arroio Tatim	2534	586	588	20	275	1.469	4.003
BR 116	Caxias do Sul/C. da Serra	2.500	604	498	72	400	1.574	4.074
BR 116	Caxias do Sul/N. Petrópolis	2.450	462	326	16	91	895	3.345
RS 122	Caxias do Sul/São Vendelino	5.153	855	560	110	374	1.899	7.052
BR 392	Santa Maria/J. de Castilhos	2.126	364	378	28	236	1.006	3.132
BR 290	Santa Maria/Entronc. BR 153	1.514	22	372	56	358	808	2.322
RST 287	Santa Maria/Cerro Branco	2.390	364	334	28	118	844	3.234
BR 392	Santa Maria/São Sepé	1.622	356	424	30	274	1.084	2.706

Fonte: PECR (1997).

6.3.2 ANÁLISE DOS DADOS

O resumo da análise estatística geral do dados de tráfego mostra que

- em número de veículos
  - o fluxo médio diário anual é de 3.607 veículos/dia,
  - o fluxo diário mínimo é de 1.304 veículos/dia,
  - o fluxo diário máximo é de 5.153 veículos/dia,
- os veículos de passeio representam 65,10% do tráfego total,
  - a participação mínima dos veículos de passeio é de 47,15%,
  - a participação máxima dos veículos de passeio é de 74,32%,
- os veículos de carga representam 34,90% do tráfego total,
  - a participação mínima dos veículos pesados é de 25,68 %,
  - a participação máxima veículos pesados é de 52,85 %.

Quanto aos fluxos de veículos pesados a análise estatística mostra, para os diversos trechos observados que

- caminhões leves com 2 eixos representam em média 36,48 %,
  - com participação mínima de 2,72%,
  - com participação máxima de 60,75%,
- caminhões médios com 3 eixos representam em média 36,18 %,
  - com participação mínima de 24,84%,
  - com participação máxima de 46,84%,
- caminhões articulados pesados com 4 eixos representam em média 3,60 %,

- com participação mínima de 1,36%,
- com participação máxima de 7,72%,

- caminhões articulados super-pesados 5 eixos representam em média 23,74 %,
  - com participação mínima de 6,68%,
  - com participação máxima de 44,31%.

6.4 OCUPAÇÃO DA VIA PELOS VEÍCULOS

Para alocação dos custos fixos de manutenção são utilizadas as relações de equivalência de ocupação de via entre os diferentes veículos estabelecidas pelo HCM (1997), para as diferentes regiões topográficas estudadas.

6.4.1 FATORES DE OCUPAÇÃO DE VEÍCULO E DE EIXO

Relacionando os elementos fornecidos pelo HCM com a classificação dos veículos de carga obtemos os fatores de ocupação de eixo para os diferentes veículos.

Para Regiões Planas temos,

- automóvel com 2 eixos,
  - fator de ocupação de veículo - 1,00
  - fator de ocupação de eixo - 0,50
- caminhão leve, com 2 eixos, classificação **2 C**;
  - fator de ocupação de veículo - 1,76
  - fator de ocupação de eixo - 0,88
- caminhão médio, com 3 eixos, classificação **3 C**;
  - fator de ocupação de veículo - 1,76
  - fator de ocupação de eixo - 0,59
- caminhão articulado pesado, com 4 eixos, classificação **2 S 2**;
  - fator de ocupação de veículo - 1,76
  - fator de ocupação de eixo - 0,44
- caminhão articulado super-pesado, com 5 eixos, classificação **2 S 3**;
  - fator de ocupação de veículo - 1,76
  - fator de ocupação de eixo - 0,35

Para Regiões Onduladas temos,

- automóvel com 2 eixos,
  - fator de ocupação de veículo - 1,00
  - fator de ocupação de eixo - 0,50
- caminhão leve com 2 eixos classificação **2 C**;
  - fator de ocupação de veículo - 4,00
  - fator de ocupação de eixo - 2,00
- caminhão médio com 3 eixos classificação **3 C;**
  - fator de ocupação de veículo - 4,00
  - fator de ocupação de eixo - 1,33
- caminhão articulado pesado, com 4 eixos, classificação **2 S 2**
  - fator de ocupação de veículo - 4,00
  - fator de ocupação de eixo - 1,00
- caminhão articulado super-pesado com 5 eixos, classificação **2 S 3**
  - fator de ocupação de veículo - 4,00
  - fator de ocupação de eixo - 0,80

Para Regiões Montanhosas temos,

- automóvel com 2 eixos
  - fator de ocupação de veículo - 1,00
  - fator de ocupação de eixo - 0,50
- caminhão leve, com 2 eixos, classificação **2 C**;
  - fator de ocupação de veículo - 8,00
  - fator de ocupação de eixo - 4,00
- caminhão médio, com 3 eixos, classificação **3 C**;
  - fator de ocupação de veículo - 8,00
  - fator de ocupação de eixo - 2,67
- caminhão articulado pesado, com 4 eixos, classificação **2 S 2**;
  - fator de ocupação de veículo - 8,00
  - fator de ocupação de eixo - 2,00
- caminhão articulado super-pesado com 5 eixos, classificação **2 S 3**
  - fator de ocupação de veículo - 8,00
  - fator de ocupação de eixo - 1,60

O quadro 1 apresenta o resumo dos fatores de ocupação de eixo para os diferentes veículos e tipos de região onde se desenvolve a rodovia.

Quadro 1 - **FATOR DE OCUPAÇÃO DE EIXO**

TIPO DE VEÍCULO	REGIÃO PLANA	REGIÃO ONDULADA	REGIÃO MONTANHOSA
Automóvel	0,50	0,50	0,50
Caminhão - **2C**	0,88	2,00	4,00
Caminhão - **3C**	0,59	1,33	2,67
Caminhão -**2S2**	0,44	1,00	2,00
Caminhão - **2S3**	0,35	0,80	1,60

6.5 IMPACTO DOS VEÍCULOS NO PAVIMENTO

Para definição dos custos variáveis de manutenção são utilizadas as relações de equivalência de capacidade destrutiva da via entre os diferentes veículos, estabelecidas em função do peso dos eixos dos mesmos.

6.5.1 PESO DOS VEÍCULOS DE CARGA

A quantificação e classificação do fluxo de tráfego que circula em uma determinada rodovia é de fundamental importância para a avaliação dos danos sofridos pelo pavimento. Entretanto, a obtenção destes dados requer uma atualização constante e criteriosa, uma vez que poucos são os levantamentos de tráfego que incorporam simultaneamente as informações de quantidade, tipo e peso de eixos dos diferentes veículos.

Cargas Reais dos Veículos Pesados

Em PEREIRA (1985), são fornecidos os dados do levantamento dos tipos de eixos que solicitam as rodovias de tráfego pesado no sul do Brasil, o quais se enquadram em quatro categorias predominantes,

- eixo simples de rodas simples,
- eixo simples de rodas duplas,
- eixo tandem duplo de rodas duplas,
- eixo tandem triplo de rodas duplas.

Nesse mesmo levantamento, efetuado na BR 277 no trecho entre Curitiba e Paranaguá, é constatado que,

- nenhum valor referencial de carga para eixo simples de rodas simples é superior a 5,53 tf,
- para os veículos mais pesados, a média dos valores para eixo simples rodas simples é de 4,59 toneladas,
- para eixos simples de rodas duplas os valores chegam a 14,37 tf,
- para os veículos mais pesados, a média dos valores para eixos simples de rodas duplas é de 11,58 tf,
- para eixos tandem duplos de rodas duplas os valores chegam a 25,32 tf,
- para os veículos mais pesados, a média dos valores para eixos tandem duplos de rodas duplas é de 19,91 tf,
- para eixos tandem triplos de rodas duplas os valores chegam a 32,77 tf,
- para os veículos mais pesados, a média do valores para eixos tandem triplos de rodas duplas é de 27,76 tf.

Cargas Legais Máximas

A legislação vigente no país, através da Resolução Nº 12 (CONTRAN, 1998), fixa para veículos com condições normais de circulação os seguintes pesos máximos,

- para um veículo (peso total) 45,0 tf,
- para um eixo simples de rodas simples 6,0 tf,
- para um eixo simples de rodas duplas 10,0 tf,
- para um eixo tandem duplo de rodas duplas (conjunto) 17,0 tf,
- para um eixo tandem triplo de rodas duplas (conjunto) 25,5 tf.

Dessa forma, isoladamente por eixo, os pesos máximos legalmente admitidos, são,

- para eixo simples de rodas simples 6,0 tf,
- para eixo simples de rodas duplas 10,0 tf,
- para eixo tandem duplo de rodas duplas 8,5 tf,
- para eixo tandem triplo de rodas duplas 8,5 tf.

Os valores transcritos de PEREIRA (1985), mesmo com origem em 1979, continuam bastante representativos quanto ao comportamento dos transportadores rodoviários no que diz respeito ao excesso de peso dos veículos. A comparação deles com os atuais limites legais demonstra que,

- para eixo simples de rodas simples, o maior valor observado alcançou somente 92% do limite legal,
- para eixo simples de rodas simples, a média dos valores alcançou 77% do limite legal,
- para eixo simples de rodas duplas, a média dos valores superou em 16% o limite legal,
- para eixo tandem duplo de rodas duplas, a média dos valores superou em 17% o limite legal,
- para eixo tandem triplo de rodas duplas, a média dos valores superou em 9% o limite legal.

De acordo com estes dados, podemos concluir que existe uma condição persistente de excesso de peso dos veículos de carga nas rodovias brasileiras, sendo significativa à incidência de sobrecarga nos veículos de eixo composto por múltiplo rodado.

6.5.2 DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE EIXO

Os fatores de carga, tanto para eixo, como para veículo, através da determinação de cargas médias referidas na pesquisa apresentada em PEREIRA (1985), servem para referir os diferentes tipos de eixos servindo também com o objetivo de proporcionar elementos comparativos através da utilização das cargas legais máximas.

Fatores de Eixo para as Cargas Pesquisadas

A determinação dos diversos fatores de eixo para as cargas médias efetivamente constatadas é procedida com a aplicação da equação (1), ficando assim os valores, expressos em eixos-padrão equivalentes para,

- eixo simples de rodas simples de 4,59tf,

$$\Delta f = (\ 4{,}59/6{,}60)^{4{,}0} \qquad = 0{,}234$$

- eixo simples de rodas duplas de 11,58 tf,

$$\Delta f = (11{,}58/8{,}16)^{4{,}0} \qquad = 4{,}056$$

- eixo tandem duplo de rodas duplas de 19,91 tf,

$$\Delta f = (8{,}50/7{,}55)^{4{,}0} \times 2 \qquad = 6{,}045$$

- eixo tandem triplo de rodas duplas de 27,76 tf,

$$\Delta f = (9{,}25/7{,}63)^{4{,}0} \times 3 \qquad = 6{,}490$$

Fatores de Eixo para as Cargas Legais Máximas

A determinação dos diversos fatores de eixo para as cargas legais máximas é procedida com a aplicação da equação (1), ficando assim os valores expressos em eixos-padrão equivalentes para,

- eixo simples de rodas simples de 6,00 tf,

$$\Delta f = (\ 6{,}00/6{,}60)^{4{,}0} \qquad = 0{,}683$$

- eixo simples de rodas duplas de 10,00 tf,

$$\Delta f = (10{,}00/8{,}16)^{4{,}0} \qquad = 2{,}255$$

- eixo tandem duplo de rodas duplas de 17,00 tf,

$$\Delta f = (8{,}50/7{,}55)^{4{,}0} \times 2 \qquad = 3{,}213$$

- eixo tandem triplo de rodas duplas de 25,50 tf,

$$\Delta f = (8{,}50/7{,}63)^{4{,}0} \times 3 \qquad = 4{,}621$$

6.5.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS FATORES DE EIXO

Sendo comparados entre si os valores de fator de eixo determinados para as cargas médias efetivas pesquisadas e os para as cargas legais máximas temos para,

- eixo simples de rodas simples
  - carga pesquisada - 4,59 tf fator de eixo - 0,234
  - carga legal - 6,00 tf fator de eixo - 0,683
- eixo simples de rodas duplas,
  - carga pesquisada - 11,58 tf fator de eixo - 4,056
  - carga legal - 10,00 tf fator de eixo - 2,255
- eixo tandem duplo de rodas duplas,
  - carga pesquisada - 19,91 tf fator de eixo - 6,045
  - carga legal - 17,00 tf fator de eixo - 3,213
- eixo tandem triplo de rodas duplas,
  - carga pesquisada - 27,76 fator de eixo - 6,490
  - carga legal - 25,50 tf fator de eixo - 4,621

No quadro 2 é apresentado um resumo dos diversos valores determinados para os fatores de eixo em função dos diferentes pesos dos eixos dos caminhões.

Quadro 2 - **COMPARAÇÃO ENTRE OS FATORES DE EIXO**

TIPO	FATOR DE EIXO CARGA LEGAL	FATOR DE EIXO CARGA PESQUISADA	DIFERENÇA	
Eixo Simples de Rodas Simples	0,683	0,234	- 0,449	- 65,7%
	6,00	4,59	- 1,40	- 15,6%
Eixo Simples de Rodas Duplas	2,255	4,056	1,801	79,9%
	10,00	11,58	1,58	15,8%
Eixo Tandem Duplo de Rodas Duplas	3,213	6,045	2,832	88,1%
	17,00	19,91	2,91	17,1%
Eixo Tandem Triplo de Rodas Duplas	4,621	6,490	1,869	40,4%
	25,50	27,76	2,26	8,9%

Valores dos peso expressos em tf e os dos fatores de eixo expressos em eixos-padrão equivalente.

6.5.4 DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE VEÍCULO

O HDM III exige, para implementar as análises, que seja fornecido os fatores de carga equivalentes para os diferentes veículos que compõem o fluxo rodoviário. Para tanto, precisam ser determinados os fatores de veículo (FV) para os tipos de caminhões identificados nas pesquisas relatadas.

Fatores de Veículo para as Cargas Pesquisadas

Os fatores de veículo são determinados a partir dos fatores de eixo anteriormente estabelecidos a partir dos pesos médios dos eixos pesquisados e compostos com as correspondentes combinações de eixos. Os resultados são os seguintes,

- caminhão leve 2 eixos,
  - eixo dianteiro - simples de rodas simples - 4,59 tf - 0,234
  - eixo traseiro (t) - simples de rodas duplas - 11,58 tf - 4,056

  peso total / fator de veículo - 16,17 tf - 4,290
- caminhão médio 3 eixos,
  - eixo dianteiro - simples de rodas simples - 4,59 tf - 0,234
  - eixo traseiro (t)- tandem duplo de rodas duplas - 19,91 tf - 6,045

  peso total / fator de veículo - 24,45 tf - 6,279
- caminhão articulado pesado 4 eixos,
  - eixo dianteiro - simples de rodas simples - 4,59 tf - 0,234
  - eixo traseiro (t)- simples de rodas duplas - 11,58 tf - 4,056
  - eixo traseiro (a)- tandem duplo de rodas duplas - 19,91 tf - 6,045

  peso total / fator de veículo - 36,08 tf - 10,335
- caminhão articulado super-pesado 5 eixos,

▪ eixo dianteiro - simples de rodas simples	- 4,59 tf	- 0,234
▪ eixo traseiro (t)- simples de rodas duplas	- 11,58 tf	- 4,056
▪ eixo traseiro (a)- tandem triplo de rodas duplas	- 27,76 tf	- 6,490
peso total / fator de veículo	**- 43,93 tf**	**- 10,780**

Fatores de Veículo para as Cargas Legais Máximas

Os fatores de veículo são determinados em função dos fatores de eixo anteriormente estabelecidos, a partir das cargas legais máximas, e compostos com as correspondentes combinações de eixos de cada tipo de veículo de carga resultando para

- caminhão leve com 2 eixos

▪ eixo dianteiro - simples de rodas simples	- 6,00 tf	- 0,683
▪ eixo traseiro (t)- simples de rodas duplas	- 10,00 tf	- 2,255
peso total / fator de veículo	**- 16,00 tf**	**- 2,938**

- caminhão médio com 3 eixos,

▪ eixo dianteiro - simples de rodas simples	- 6,00 tf	- 0,683
▪ eixo traseiro (t)- tandem duplo de rodas duplas	- 17,00 tf	- 3,213
peso total / fator de veículo	**- 23,00 tf**	**- 3,896**

- caminhão articulado pesado com 4 eixos,

▪ eixo dianteiro - simples de rodas simples	- 6,00 tf	- 0,683
▪ eixo traseiro (t)- simples de rodas duplas	- 10,00 tf	- 2,255
▪ eixo traseiro (a)- tandem duplo de rodas duplas	- 17,00 tf	- 3,213
peso total / fator de veículo	**- 33,00 tf**	**- 6,151**

- caminhão articulado super-pesado com 5 eixos,

▪ eixo dianteiro - simples de rodas simples	- 6,00 tf	- 0,683
▪ eixo traseiro (t)- simples de rodas duplas	- 10,00 tf	- 2,255
▪ eixo traseiro (a)- tandem triplo de rodas duplas	- 25,50 tf	- 4,621
peso total / fator de veículo	**- 41,50 tf**	**- 7,559**

No quadro 3 é apresentado um resumo dos diversos valores determinados para os fatores de eixo em função dos diferentes pesos dos eixos dos caminhões juntamente com as diferenças entre os fatores para as cargas pesquisadas e as legais máximas.

Quadro 3 - **COMPARAÇÃO ENTRE OS FATORES DE VEÍCULO**

TIPO	FATOR DE VEÍCULO CARGA LEGAL	FATOR DE VEÍCULO CARGA PESQUISADA	DIFERENÇA	
Caminhão Leve	2,938	4,290	1,35	46,0%
	16,00	16,17	0,17	1,1%
Caminhão Médio	3,896	6,279	2,383	61,2%
	23,00	24,45	1,45	6,3%
Caminhão Pesado	6,151	10,335	4,184	68,0%
	33,00	36,08	6,08	18,4%
Caminhão Super-Pesado	7,559	10,780	3,221	42,6%
	41,50	43,93	2,43	5,9%

Valores dos peso expressos em tf e, fatores de veiculo, expressos em eixos-padrão equivalente.

6.6 FATORES REPRESENTATIVOS DO TRÁFEGO

Como foi citado anteriormente é necessária à determinação dos fatores que representam o fluxo de veículos de forma genérica, uma vez que seriam numerosas as operações de analise com o HDM III em função da diversidade de valores a serem combinados. Nesse sentido, são determinados alguns fatores que possam representar as características dos veículos tanto nas diferentes condições de relevo das rodovias, como nas diferentes situações de volume de tráfego e composição da frota circulante.

6.6.1 VEÍCULO CARACTERÍSTICO DA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS

Número de Eixos do Veículo Pesado Característicos

Na tentativa de estimar o número de eixos que caracterize a frota de caminhões foi efetuada a relação através de média ponderada das quantidades de cada tipo de veículo em índices percentuais correspondentes a cada tipo de veículo pesado. Com efeito.

Para os caminhões leves com 2 eixos,

- 2 x 36,48 / 100 = 0,7 eixos.

Para os caminhões médios com 3 eixos,

- 3 x 36,18 / 100 = 1,1 eixos.

Para os caminhões articulados pesados com 4 eixos,

- 4 x 3,60 / 100 = 0,1 eixos.

Para os caminhões articulados super-pesados com 5 eixos,

- 5 x 23,74 / 100 = 1,2 eixos.

Para um caminhão genérico temos o valor final de,

- 0,7 + 1,1 + 0,1 + 1,2 = 3,1 eixos.

Por se tratar de quantidade de eixos, o valor deve ser expresso em um número inteiro indicando que o caminhão representativo da frota pesada corresponde a um veículo com,

- **NE = 3**.

Fator de Ocupação de Veículo do Veículo Pesado Característico

O fator de ocupação de veículo é determinado pelas condições de relevo da região sendo para,

- Região Plana 1,76
- Região Ondulada 4,00
- Região Montanhosa 8,00

Nas Caraterísticas de Relevo das Rodovias, é mostrado que as rodovias do estado situam-se,

- 20% em Região Plana,
- 75% em Região Ondulada,
- 5% em Região Montanhosa.

O fator de ocupação de veículo para uma situação média das condições de relevo é determinado através de média ponderada dos fatores de cada região cujos peso são os percentuais de cada tipo de região. Com efeito,

- para Região Plana,
  - 1,76 x 20 / 100 = 0,34 ,
- para Região Ondulada,
  - 4,00 x 75 / 100 = 3,00 ,
- para Região Montanhosa,
  - 8,00 x 5 / 100 = 0,40 .

Portanto para uma região genérica equivalente às regiões por onde se desenvolvem as rodovias analisadas o fator de ocupação de veículo é ,

FOV* = 3,74.

Fator de Ocupação de Eixo do Veículo Pesado Característico

Sendo, fator de ocupação de eixo igual ao fator de ocupação de veículo dividido pelo número de eixos do veículo, deduzimos o fator de ocupação de eixo que representa os veículos pesados a partir da relação,

FOE* = 1,25.

Fator de Veículo dos Diferentes Veículos Pesados

Para a determinação de um fator de veículo, que seja representativo da frota de veículos pesados, esse fator é estimado a partir do impacto provocado ao fluxo de tráfego e da média ponderada dos fatores de veículo, cujos pesos são os percentuais de cada tipo de veículo. Com efeito,

- para os caminhões leves com 2 eixos,
  - carga pesquisada 36,48 x 4,290 / 100 = 1,565
  - carga legal 36,48 x 2,938 / 100 = 1,072
- para os caminhões médios com 3 eixos,
  - carga pesquisada 36,18 x 6,279 / 100 = 2,272
  - carga legal 36,18 x 3,896 / 100 = 1,410
- para os caminhões articulados pesados com 4 eixos,
  - carga pesquisada 3,60 x 10,335 / 100 = 0,372
  - carga legal 3,60 x 6,151 / 100 = 0,221
- para caminhões articulados super-pesados com 5 eixos,
  - carga pesquisada 23,74 x 10,780 / 100 = 2,559
  - carga legal 23,74 x 7,559 / 100 = 1,795

Fator de Veículo do Veículo Pesado Característico

Para o veículo pesado característico da frota os valores para o fator de veículo são,

- carga pesquisada 1,565 + 2,272 + 0, 372 + 2,559 = 6,768
- carga legal 1,072 + 1,410 + 0,221 + 1,795 = 4,498

corrigindo os valores em função da diferença do número de eixos característicos calculados e iguais a 3,1, e o número de eixos assumidos sendo igual a 3,0 temos,

- para a carga pesquisada
  - **FV = 6,994,**

- para carga legal
  - **FV = 4,648.**

Assim se pode observar que, para uma sobrecarga de 17% existe um incremento de 50% no fator de veículo. Entretanto não existem estudos ou levantamentos disponíveis que indiquem atualmente as reais condições de sobrecarga nas rodovias. Isso dificulta a decisão de se adotar um determinado fator de veículo que seja representativo das cargas reais que transitam pelas rodovias, que por certo conduziriam a estimativas incompatíveis com os resultados do tráfego simulado.

Características do Veículo Representativo da Frota de Veículos Pesados

As características do veículo genérico representativo da frota de veículos de transporte de carga padrão em circunstâncias médias de relevo são,

- número de eixos - **NE = 3,00**
- fator de ocupação de veículo - **FOV = 3,74**
- fator de ocupação de eixo - **FOE = 1,25**
- fator de veículo
  - carga pesquisada - **FV = 6,994**
  - carga legal - **FV = 4,648.**

– CAPÍTULO 7 –

ESTIMATIVA DA DETERIORAÇÃO

SIMULAÇÃO - CUSTO EQUIVALENTE ANUAL - CUSTO FIXO, VARIÁVEL E TOTAL DA MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO

7.1 SIMULAÇÃO NO HDM III

A obtenção dos valores necessários à manutenção rodoviária ao longo do tempo é realizada através do HDM III. Para tanto, são procedidas simulações de forma a constituir, a partir dos resultados, uma base de dados para analise e desenvolvimento do trabalho.

7.1.1 DADOS DE ENTRADA

O HDM III exige a entrada de dados iniciais que caracterizam os elementos disponíveis para análise. São diversos dados que devem ser confrontados no modelo antes de cada rodada de análise pretendida, o que torna a sistemática bastante trabalhosa e demorada, não só pela quantidade de dados a serem fornecidos, mas também, pela necessidade de inicialização sistemática do programa com a mudança de alguns elementos principais. Diante dessa circunstância é precedida uma adequação preliminar das informações que são fornecidas ao HDM III de modo a homogeneizar os dados de entrada. Isso serve para agregar de valores representativos dos cenários existentes na realidade com a finalidade de simplificar, tanto as operações de análise com o HDM III, como os resultados por ele produzido.

Controle de Análise

Os dados de controle de análise fornecidos ao HDM III para a apuração dos dados pretendidos com base em uma situação hipotética foram,

- taxa de desconto - 6%
- período de análise - 25 anos
- ano inicial da análise - 2000
- moeda corrente - dólar americano

- moeda de saída - dólar americano

Características da Rodovia

Os dados das características das rodovias fornecidos ao HDM III foram,

- características geométricas
  - extensão da rodovia - 100 km
  - largura da pista - 7,00 m
  - largura do acostamento - 1,00 m
  - número de faixas de tráfego - 2
- características de relevo
  - subidas mais descidas - 22 m/km
  - curvatura - 100 graus/km

Características do Meio Ambiente

Os dados das características do meio ambiente fornecidos ao HDM III foram,

- altitude - 380 m
- precipitação - 0,139 mm/mês

Características do Pavimento

As características do pavimento fornecidos ao HDM III foram,

- características do revestimento,
  - tipo de revestimento - tratamento superficial duplo
  - espessura camadas atuais - 30 mm
  - espessura camadas antigas - 0 mm
- características da base e sub-leito,
  - tipo de base - 1 (granular)
  - CBR do sub-leito - 10%
  - número estrutural - 1,74
- características de conservação do pavimento,
  - irregularidade longitudinal - variando de 2 até 8 m/km,
  - área total trincada - 35%,
  - área trincas largas - 0%,

- área esburacada - 0%,
- área desgastada - 0%,
- afundamento de trilha - 20 mm,
- desvio padrão afundamento - 6 mm,
- idade do pavimento - 17 anos,
- idade de construção - 17 anos,

Características do Tráfego de Veículos Pesados

Os dados do tráfego fornecido ao HDM III foram,

- tráfego médio diário - variando de 0 até 6.000 veículos pesados/dia
- fator de veículo - 4,7 eixos-padrão equivalentes
- número de eixos - 3 eixos

Estratégias de Manutenção

As estratégias de atuação no pavimento fornecidas ao HDM III foram,

- Estratégia 1,
  - Remendos - área esburaca = 0,5% IRI $\leq$ 4,0 m/km
  - Lama Asfáltica - área trincada = 25% IRI $\leq$ 4,0 m/km
  - Recapeamento - concreto asfáltico 30 mm IRI = 5,0 m/km
- Estratégia 2,
  - Remendos - área esburaca = 0,5% IRI $\leq$ 4,0 m/km
  - Lama Asfáltica - área trincada = 25% IRI $\leq$ 4,0 m/km
  - Recapeamento - concreto asfáltico 40 mm IRI = 5,0 m/km
- Estratégia 3,
  - Remendos - área esburaca = 0,5% IRI $\leq$ 4,0 m/km
  - Lama Asfáltica - área trincada = 25% IRI $\leq$ 4,0 m/km
  - Recapeamento - concreto asfáltico 60 mm IRI = 5,0 m/km
- Estratégia 4,
  - Remendos - área esburaca = 0,5% IRI $\leq$ 4,0 m/km
  - Lama Asfáltica - área trincada = 25% IRI $\leq$ 4,0 m/km
  - Recapeamento - concreto asfáltico 80 mm IRI = 5,0 m/km
- Estratégia 5,
  - Remendos - área esburaca = 0,5% IRI $\leq$ 4,0 m/km

- Lama Asfáltica - área trincada = 25% IRI $\leq$ 4,0 m/km
- Recapeamento - concreto asfáltico 120 mm IRI = 5,0 m/km

Custo das Operações no Pavimento

Os custos necessários fornecidos ao HDM III foram,

- custos financeiros,
  - remendos - 16,86 us$/m^2,
  - lama asfáltica - 3,04 us$/m^2,
  - recapeamento,
    - 30 mm - 5,95 us$/m^2, fator de custo = 1,00
    - 40 mm - 7,39 us$/m^2, fator de custo = 1,24
    - 60 mm - 9,65 us$/m^2, fator de custo = 1,62
    - 80 mm - 12,12 us$/m^2, fator de custo = 2,04
    - 120 mm - 17,46 us$/m^2, fator de custo = 2,93

7.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os valores dos custos referentes à manutenção do pavimento são obtidos através de diversas simulações no HDM III para cada uma das prováveis situações de deterioração inicial da rodovia com base nos níveis de tráfego estabelecidos. O HDM III fornece após cada simulação um grande número de informações relativas às condições fisicas médias e finais da rodovia e custos necessários para sua conservação. Dentre as informações disponíveis, foram tabuladas as referentes aos resultados finais das condições médias de irregularidade longitudinal da rodovia, designado pela sigla IRI_m, e o custo financeiro equivalente anual para a execução do projeto, designado pela sigla CEA°, que corresponde ao custo de manutenção, em parcelas anuais e ao longo de todo o período de análise, obviamente equivalentes a valores no início da análise.

Os valores obtidos das simulações estão apresentados na tabela 12 onde,

- **CEA°,** expresso em US$/km/ano, corresponde ao Custo Financeiro Equivalente Anual das operações de conservação do pavimento quantificado em parcelas iguais ao longo do período de análise,

- **CEA**, expresso em US$/km/ano, corresponde ao Custo Equivalente Anual de manutenção do pavimento corrigido, em função das diferenças entre os valores de IRI médio observados para as diferentes estratégias adotadas a partir da equação,

$$\mathbf{CEA = CEA^{o} + [(CEA^{o} \div IRI_{m}) \times (IRI_{m} - IRI_{ref})]} \quad (2)$$

cuja finalidade é a de homogeneizar os valores determinados pelo HDM III relacionando-os a um mesmo valor de referência, $\mathbf{IRI_{ref}}$, o que permite uma análise comparativa mais adequada aos custos referidos ao mesmo padrão médio de qualidade do pavimento,

- $\mathbf{IRI_i}$, expresso em m/km, corresponde ao Índice de Irregularidade Longitudinal do pavimento no instante inicial da análise,
- $\mathbf{IRI_m}$, expresso em m/km, corresponde ao Índice de Irregularidade Longitudinal Médio de cada estratégia, definida por diferentes espessuras de recapeamento e determinado pelo HDM III durante o período de análise
- $\mathbf{IRI_{ref}}$, expresso em m/km, serve como valor para referência do Índice de Irregularidade Longitudinal Médio, corresponde ao nível de qualidade médio pretendido para compor o pavimento durante o período de análise. O valor assumido representa a média geral entre todos os valores de $\mathbf{IRI_m}$ determinados na totalidade das simulações procedidas sendo a relação estabelecida pela equivalência,

$$\mathbf{IRI_{ref} = 3{,}43} \text{ m/km},$$

- **NVP**, expresso em veículos/dia, corresponde ao Número de Veículos Pesados, com as características representativas da frota de veículos pesados, que trafega pelo trecho em cada dia sendo,

$$\mathbf{NPV = TMDA \times PVP}, \quad (3)$$

onde,

- **TMDA**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo total, médio, diário e anual de veículos que circulam pela rodovia nos dois sentidos,
- **PVP**, expresso em decimais, corresponde à parcela de veículos pesados,
- **NVL**, expresso em veículos/dia, corresponde ao Número de Veículos Leves que trafegam pelo trecho em cada dia sendo,

$$\mathbf{NVL = TMDA - NVP}, \quad (4)$$

- **REC**, expresso em mm, corresponde a Espessura do Recapeamento previsto em cada uma das estratégias propostas.

7.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Para ser efetuada a análise dos resultados produzidos pelo HDM III é necessário o entendimento de que existem, fundamentalmente, dois grandes grupos de custos envolvidos no processo, que são os Custos Fixos de Manutenção (que não guardam relação com o uso da via e incidem no cálculo de custos de manutenção mesmo que não exista qualquer tráfego de veículos) e os Custos Variáveis decorrentes do uso da via e em função do tráfego nela existente. A partir dos resultados produzidos pelo HDM III, analisados de acordo com a lógica acima descrita, são determinados os modelos que representam cada um dos custos citados da manutenção do pavimento em função das seguintes variáveis,

- **IRI_i**, expresso em m/km, corresponde ao Índice de Irregularidade Longitudinal do pavimento no instante inicial da análise,
- **REC**, expresso em mm, corresponde a Espessura do Recapeamento previsto em cada uma das estratégias propostas,
- **TMDA**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo total, médio, diário e anual de veículos que circulam pela rodovia nos dois sentidos,
- **PVP**, expresso em decimais, corresponde à parcela de veículos pesados,
- **NVP**, expresso em veículos/dia, corresponde ao Número de Veículos Pesados, com as características representativas da frota de veículos pesados que trafega pelo trecho em cada dia.

7.3.1 CUSTO FIXO DE MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO

Os valores do custo fixo de manutenção do pavimento são obtidos através da análise dos resultados das simulações no HDM III, como anteriormente referido para o custo total de manutenção do pavimento, somente que, neste caso não são incluídas as variáveis referentes ao fluxo efetivo de veículos. Os valores obtidos correspondem, portanto aos gastos necessários à conservação de um pavimento sujeito somente ao tráfego leve e às condições naturais de intempérie e deterioração intrínseca de seus materiais componentes sem qualquer sobrecarga de uso.

Os valores para o custo fixo de manutenção do pavimento, designado por $\mathbf{CF_{pav}}$, podem ser determinados pela expressão,

$$\mathbf{CF_{pav} = 2.793 + 254 \times IRI_i^{1,5} + 0,22 \times REC^2}, \quad (5)$$

onde o resultado é expresso em US$/km/ano e obtido através de regressão múltipla com base nos valores relacionados na tabela 12, resultante das simulações no HDM III, com o fluxo de veículos pesados igual a zero, ou seja, custos equivalentes anuais ajustados (CEA) correspondentes à NVP igual a zero, e apresentando coeficiente de determinação $R^2 = 0,91$.

Cabe nesse instante questionar se o HDM III é capaz de produzir valores adequados para os fatores que não envolvem o carregamento do pavimento. No estudo designado Truck Paviment Interaction - TPI (FHWA, 2000), iniciado no anos 80, encontramos relatos que indicam a existência de modelos de deterioração dos pavimentos que consideram simultaneamente a ação dos carregamentos e dos fatores do meio ambiente e materiais na composição do cálculo. Contudo, são pouco satisfatórios os resultados de deterioração dos pavimentos sem ação efetiva do tráfego. Em MARCON (1998), há o relato de que os fatores de deterioração relativos aos materiais e meio ambiente incluídos no HDM III, não são de ordem prática, mas sim, fatores multiplicadores que corrigem as diferenças nos resultados das equações, compatibilizando-os com os resultados de campo. Esse procedimento guarda relação com o transcrito das pesquisas da AASHTO por CASTRO (1999) que afirma que,

> *"O conjunto de agentes naturais: físicos, químicos e biológicos, chamado intempérie, somente cria condições que podem debilitar a estrutura do pavimento permitindo ao tráfego destruí-lo mais rapidamente.".*

Assim, o custo fixo de manutenção do pavimento pode ser entendido como composto por duas parcelas,

- a primeira, correspondente a parcela fixa da equação 4-VII, com valor fixo de 2.793 US$/km/ano, que representariam aos gastos de manutenção do pavimento e acostamentos devido à deterioração produzida pelos diversos efeitos do meio ambiente, degeneração própria dos materiais e custos decorrentes desta degeneração em outros elementos da rodovia com a sinalização horizontal,
- a segunda, correspondente às parcelas variáveis, $(254 \times IRI_i^{1,5} + 0,22 \times REC^2)$, que representariam os gastos com a reabilitação e conservação do pavimento em função das condições de conservação no início do período de análise.

É, entretanto, necessária uma análise mais detalha e precisa com incorporação de outras variáveis formadoras do custos fixos, por exemplo, idade e área trincada do pavimento,

para a obtenção de resultados mais representativos de tais custos, ficando o parágrafo anterior como sugestão em nível de conclusão parcial.

7.3.2 CUSTO VARIÁVEL DE MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO

O custo variável de manutenção do pavimento, designado de $\mathbf{CV_{pav}}$, é composto pelas operações decorrentes da conservação que se faz necessária pela deterioração devida ao tráfego de veículos pesados. Esta variável, portanto, corresponde a parcela do custo de manutenção do pavimento que não existiria na rodovia se não houvesse tráfego de veículos pesados.

Os valores do custo variável de manutenção do pavimento podem ser expressos pela equação,

$$\mathbf{CV_{pav} = - 0{,}03 \times IRI_i^{1,5} \times NVP + 1{,}8 \times 10^{-5} \times REC^2 \times NVP + ...}$$

$$\mathbf{... + 2{,}8 \times NVP - 0{,}0006 \times NPV^2 + 5{,}8 \times 10^{-8} \times NPV^3}\ , \quad (6)$$

em US$/km/ano, obtida assim como o custo total de manutenção do pavimento, através de regressões múltiplas a partir dos resultados relacionados na tabela 12, apresentando coeficiente de determinação $R^2 = 0{,}82$.

7.3.3 CUSTO TOTAL DE MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO

O custo total de manutenção do pavimento é designado por $\mathbf{CT_{pav}}$, sendo igual a soma dos custos fixo e variáveis, ou,

$$CT_{pav} = CF_{pav} + CV_{pav}, \quad (7)$$

podendo ser expresso pela equação,

$$\mathbf{CT_{pav} = 2.793 + 254 \times IRI_i^{1,5} + 0{,}22 \times REC^2 - 0{,}03 \times IRI_i^{1,5} \times NVP + ...}$$

$$\mathbf{... + 1{,}8 \times 10^{-5} \times REC^2 \times NPV + 2{,}8 \times NVP - 0{,}0006 \times NPV^2 + 5{,}8 \times 10^{-8} \times NPV^3}, \quad (8)$$

em US$/km/ano, obtida a partir das equações, tanto do custo fixo, como do variável, anteriormente determinadas.

Tabela 12 - **CUSTOS DE MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO - HDM III**

CEA*	IRI_i	REC	NVP	IRI_m	CEA	CEA*	IRI_i	REC	NVP	IRI_m	CEA
5.098	2,00	30	-	2,64	6.624	5.913	2,00	30	772	3,60	5.634
4.181	2,00	40	-	2,64	5.432	6.461	2,00	40	772	3,42	6.480
5.098	2,00	60	-	2,64	6.624	6.557	2,00	60	772	3,29	6.836
5.098	2,00	80	-	2,64	6.624	7.311	2,00	80	772	3,13	8.012
5.098	2,00	120	-	2,64	6.624	8.930	2,00	120	772	2,90	10.562
3.863	4,00	30	-	3,95	3.354	5.735	4,00	30	772	3,89	5.057
4.802	4,00	40	-	3,76	4.381	6.164	4,00	40	772	3,75	5.633
5.236	4,00	60	-	3,26	5.509	7.387	4,00	60	772	3,23	7.844
6.259	4,00	80	-	3,14	6.837	8.934	4,00	80	772	3,10	9.885
8.404	4,00	120	-	2,90	9.940	10.009	4,00	120	772	3,14	10.933
6.183	6,00	30	-	4,08	5.198	8.009	6,00	30	772	3,95	6.955
6.697	6,00	40	-	3,74	6.142	8.467	6,00	40	772	3,66	7.935
7.534	6,00	60	-	3,43	7.534	8.130	6,00	60	772	3,31	8.425
7.902	6,00	80	-	3,38	8.019	9.602	6,00	80	772	3,17	10.390
10.609	6,00	120	-	3,08	11.815	10.609	6,00	120	772	3,47	10.487
8.673	8,00	30	-	4,13	7.203	9.764	8,00	30	772	4,00	8.373
9.564	8,00	40	-	3,60	9.112	9.975	8,00	40	772	3,91	8.750
9.375	8,00	60	-	3,32	9.686	10.193	8,00	60	772	3,39	10.313
9.003	8,00	80	-	3,40	9.082	9.885	8,00	80	772	3,24	10.465
12.314	8,00	120	-	3,39	12.459	12.967	8,00	120	772	3,37	13.198
5.498	2,00	30	100	3,09	6.103	6.356	2,00	30	1.162	3,79	5.752
5.715	2,00	40	100	3,01	6.512	6.651	2,00	40	1.162	3,57	6.390
6.059	2,00	60	100	2,93	7.093	7.490	2,00	60	1.162	3,27	7.856
6.438	2,00	80	100	2,91	7.588	8.676	2,00	80	1.162	3,21	9.271
7.243	2,00	120	100	2,88	8.626	9.287	2,00	120	1.162	3,11	10.243
3.863	4,00	30	100	3,95	3.354	6.085	4,00	30	1.162	3,98	5.244
5.214	4,00	40	100	3,66	4.886	7.423	4,00	40	1.162	3,76	6.772
5.550	4,00	60	100	3,31	5.751	7.998	4,00	60	1.162	3,23	8.493
6.635	4,00	80	100	3,18	7.157	9.058	4,00	80	1.162	3,20	9.709
8.908	4,00	120	100	2,91	10.500	10.009	4,00	120	1.162	3,36	10.218
6.448	6,00	30	100	3,87	5.715	8.282	6,00	30	1.162	3,93	7.228
6.870	6,00	40	100	3,69	6.386	8.861	6,00	40	1.162	3,66	8.304
7.627	6,00	60	100	3,42	7.649	8.319	6,00	60	1.162	3,37	8.467
7.902	6,00	80	100	3,47	7.811	10.136	6,00	80	1.162	3,18	10.933
10.609	6,00	120	100	3,13	11.626	12.967	6,00	120	1.162	3,03	14.679
8.835	8,00	30	100	4,13	7.338	10.828	8,00	30	1.162	4,02	9.239
9.564	8,00	40	100	3,72	8.818	10.293	8,00	40	1.162	3,84	9.194
9.620	8,00	60	100	3,27	10.091	10.561	8,00	60	1.162	3,47	10.439
9.470	8,00	80	100	3,35	9.696	10.102	8,00	80	1.162	3,27	10.596
12.490	8,00	120	100	3,45	12.418	13.335	8,00	120	1.162	3,22	14.205
5.060	2,00	30	151	3,35	5.181	6.683	2,00	30	1.749	3,77	6.080
5.729	2,00	40	151	3,19	6.160	7.385	2,00	40	1.749	3,67	6.902
5.768	2,00	60	151	2,94	6.729	7.924	2,00	60	1.749	3,26	8.337
6.248	2,00	80	151	2,90	7.390	9.088	2,00	80	1.749	3,25	9.591
7.263	2,00	120	151	2,82	8.834	11.631	2,00	120	1.749	3,05	13.080
4.095	4,00	30	151	3,93	3.574	7.361	4,00	30	1.749	4,05	6.234
5.527	4,00	40	151	3,58	5.295	7.959	4,00	40	1.749	3,73	7.319
5.883	4,00	60	151	3,32	6.078	7.849	4,00	60	1.749	3,28	8.208
7.033	4,00	80	151	3,17	7.610	9.725	4,00	80	1.749	3,21	10.392
9.442	4,00	120	151	2,85	11.364	12.402	4,00	120	1.749	3,03	14.039
6.648	6,00	30	151	3,96	5.758	8.706	6,00	30	1.749	3,96	7.541
6.870	6,00	40	151	3,78	6.234	9.714	6,00	40	1.749	3,60	9.255
7.726	6,00	60	151	3,38	7.840	8.520	6,00	60	1.749	3,48	8.398
7.902	6,00	80	151	3,52	7.700	10.308	6,00	80	1.749	3,26	10.846
10.609	6,00	120	151	3,17	11.479	13.146	6,00	120	1.749	3,08	14.640
8.835	8,00	30	151	4,20	7.215	11.090	8,00	30	1.749	4,07	9.346
9.693	8,00	40	151	3,64	9.134	11.407	8,00	40	1.749	3,93	9.956
9.620	8,00	60	151	3,30	9.999	11.767	8,00	60	1.749	3,31	12.194
9.470	8,00	80	151	3,36	9.667	10.332	8,00	80	1.749	3,33	10.642
12.640	8,00	120	151	3,35	12.942	13.924	8,00	120	1.749	3,24	14.741
5.888	2,00	30	227	3,53	5.721	7.204	2,00	30	2.632	3,85	6.418
5.420	2,00	40	227	3,42	5.436	7.956	2,00	40	2.632	3,63	7.518
6.274	2,00	60	227	3,08	6.987	8.398	2,00	60	2.632	3,24	8.890
6.782	2,00	80	227	3,03	7.677	9.766	2,00	80	2.632	3,20	10.468
7.852	2,00	120	227	2,94	9.161	12.371	2,00	120	2.632	3,04	13.958
4.791	4,00	30	227	3,88	4.235	7.453	4,00	30	2.632	3,92	6.521
5.598	4,00	40	227	3,70	5.189	8.013	4,00	40	2.632	3,62	7.592

Tabela 12 $_{CONT}$ **CUSTOS DE MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO - HDM III**

CEA*	IRI_i	REC	NVP	IRI_m	CEA	CEA*	IRI_i	REC	NVP	IRI_m	CEA
5.883	4,00	60	227	3,45	5.849	8.319	4,00	60	2.632	3,28	8.699
7.033	4,00	80	227	3,26	7.400	10.490	4,00	80	2.632	3,05	11.797
9.442	4,00	120	227	3,92	8.262	13.146	4,00	120	2.632	2,90	15.549
7.045	6,00	30	227	3,87	6.244	9.043	6,00	30	2.632	4,07	7.621
6.870	6,00	40	227	3,91	6.027	10.096	6,00	40	2.632	3,72	9.309
7.831	6,00	60	227	3,35	8.018	10.187	6,00	60	2.632	3,51	9.955
9.229	6,00	80	227	3,18	9.955	10.332	6,00	80	2.632	3,17	11.179
10.609	6,00	120	227	3,22	11.301	13.924	6,00	120	2.632	3,05	15.659
9.766	8,00	30	227	4,12	8.130	11.441	8,00	30	2.632	4,09	9.595
9.693	8,00	40	227	3,75	8.866	11.965	8,00	40	2.632	3,78	10.857
9.620	8,00	60	227	3,33	9.909	12.367	8,00	60	2.632	3,16	13.424
9.470	8,00	80	227	3,42	9.498	11.252	8,00	80	2.632	3,31	11.660
12.640	8,00	120	227	3,40	12.752	14.269	8,00	120	2.632	2,99	16.369
5.539	2,00	30	341	3,44	5.523	8.778	2,00	30	3.961	3,86	7.800
5.584	2,00	40	341	3,34	5.734	8.680	2,00	40	3.961	3,75	7.939
6.167	2,00	60	341	2,98	7.098	8.961	2,00	60	3.961	3,44	8.935
6.848	2,00	80	341	2,90	8.100	10.483	2,00	80	3.961	3,19	11.272
8.280	2,00	120	341	2,73	10.403	13.173	2,00	120	3.961	3,10	14.575
5.232	4,00	30	341	3,87	4.637	8.204	4,00	30	3.961	3,93	7.160
6.409	4,00	40	341	3,43	6.409	9.126	4,00	40	3.961	3,66	8.553
7.108	4,00	60	341	3,19	7.643	9.750	4,00	60	3.961	3,47	9.638
7.455	4,00	80	341	3,26	7.844	10.332	4,00	80	3.961	3,21	11.040
10.009	4,00	120	341	2,86	12.004	13.924	4,00	120	3.961	2,93	16.300
6.719	6,00	30	341	3,95	5.834	10.353	6,00	30	3.961	4,10	8.661
7.054	6,00	40	341	3,86	6.268	10.796	6,00	40	3.961	3,60	10.286
7.831	6,00	60	341	3,45	7.786	11.002	6,00	60	3.961	3,34	11.298
9.346	6,00	80	341	3,16	10.145	10.575	6,00	80	3.961	3,34	10.860
10.609	6,00	120	341	3,29	11.060	14.410	6,00	120	3.961	3,05	16.205
9.812	8,00	30	341	4,15	8.110	11.964	8,00	30	3.961	4,14	9.912
9.830	8,00	40	341	3,70	9.113	11.846	8,00	40	3.961	3,92	10.365
9.898	8,00	60	341	3,29	10.319	12.977	8,00	60	3.961	3,22	13.823
9.602	8,00	80	341	3,39	9.715	12.657	8,00	80	3.961	3,44	12.620
12.799	8,00	120	341	3,32	13.223	14.585	8,00	120	3.961	3,04	16.456
5.691	2,00	30	513	3,53	5.530	10.526	2,00	30	5.962	4,05	8.915
5.738	2,00	40	513	3,46	5.688	10.733	2,00	40	5.962	3,66	10.059
6.356	2,00	60	513	3,09	7.055	10.739	2,00	60	5.962	3,30	11.162
7.077	2,00	80	513	2,98	8.146	11.220	2,00	80	5.962	3,42	11.253
8.595	2,00	120	513	2,79	10.567	14.633	2,00	120	5.962	3,09	16.243
5.520	4,00	30	513	3,80	4.983	9.911	4,00	30	5.962	3,98	8.541
6.517	4,00	40	513	3,62	6.175	10.027	4,00	40	5.962	3,68	9.346
7.289	4,00	60	513	3,13	7.988	10.035	4,00	60	5.962	3,26	10.558
7.480	4,00	80	513	3,41	7.524	12.124	4,00	80	5.962	3,40	12.231
10.009	4,00	120	513	2,97	11.559	14.410	4,00	120	5.962	3,03	16.312
6.937	6,00	30	513	4,00	5.948	11.347	6,00	30	5.962	4,04	9.634
8.190	6,00	40	513	3,80	7.393	11.358	6,00	40	5.962	3,83	10.172
7.952	6,00	60	513	3,26	8.367	11.419	6,00	60	5.962	3,44	11.386
9.470	6,00	80	513	3,12	10.411	12.750	6,00	80	5.962	3,32	13.172
10.609	6,00	120	513	3,36	10.830	14.585	6,00	120	5.962	3,01	16.620
10.093	8,00	30	513	4,04	8.569	13.381	8,00	30	5.962	4,31	10.649
9.975	8,00	40	513	3,70	9.247	13.560	8,00	40	5.962	3,88	11.987
9.898	8,00	60	513	3,26	10.414	12.649	8,00	60	5.962	3,47	12.503
9.885	8,00	80	513	3,13	10.832	13.550	8,00	80	5.962	3,34	13.915
12.967	8,00	120	513	3,28	13.560	15.314	8,00	120	5.962	3,14	16.728

– CAPÍTULO 8 –

CUSTO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA POR EIXO DE VEÍCULO

CUSTO FIXO - CUSTO VARIÁVEL - CUSTO TOTAL - ANÁLISE COMPARATIVA

8.1 CUSTO FIXO TOTAL DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA

O custo fixo total de manutenção, designado de **CF**, é composto por duas parcelas distintas. A primeira, designada de custo fixo básico, $\mathbf{CF_0}$, engloba a totalidade das operações de conservação que não envolvem o pavimento. A segunda, designada custo fixo do pavimento, $\mathbf{CF_{pav}}$, decorrente da conservação que se faz necessária no pavimento em função de sua deterioração natural sem que o pavimento seja utilizado.

8.1.1 CUSTO FIXO BÁSICO - OPERAÇÕES EXTERNAS AO PAVIMENTO

O valor do Custo Fixo de Manutenção, $\mathbf{CF_0}$, das operações que não envolvem o pavimento é determinado pela soma dos custos dos grupos de operações seguintes com seus respectivos valores,

- Terraplenagem - 322, 87 US$/km/ano,
- Controle de Erosão em Região Plana - 187,78 US$/km/ano,
- Controle de Erosão em Região Ondulada - 465,68 US$/km/ano,
- Controle de Erosão em Região Montanhosa - 916,81 US$/km/ano,
- Sinalização - 1.375,14 US$/km/ano,
- Drenagem e OAC em Região Plana - 675,44 US$/km/ano,
- Drenagem e OAC em Região Ondulada - 420,17 US$/km/ano,
- Drenagem e OAC em Região Montanhosa - 255,46 US$/km/ano,
- Obras de Arte Especiais - 229,07 US$/km/ano,
- Obras e Serviços Complementares - 1.478,40 US$/km/ano.

É importante ressaltar que, o valor das operações de Sinalização é determinado a partir do total de US$ 2.311,14/km/ano, menos o custo equivalente ao da parcela a ser adicionada ao recapeamento, que equivale a US$ 0,78/m^2 para uma pista com 7,20 m de largura utilizável por 6 anos, intervalo de tempo médio entre dois recapeamentos, cujo custo

é da ordem de US$ 936,00/km/ano. E ainda, a diferença existente entre o valor determinado de US$ 1.375,14 a partir do PECR e o valor de US$ 976,81/km/ano do MEET decorre da necessidade de uma reabilitação periódica adicional em função da deterioração total de alguns elementos além da conservação rotineira.

Os valores totais para cada tipo de região são,

- Região Plana - 4.269,70 US$/km/ano,
- Região Ondulada - 4.291,33 US$/km/ano,
- Região Montanhosa - 4.577,75 US$/km/ano.

Existe uma pequena diferença entre os valores das diferentes regiões, sendo possível a utilização de um valor único composto a partir dos três, o qual, para uma melhor representação das condições médias de tráfego, é determinado através da média ponderada dos parâmetros, onde os fator de ponderação são os percentuais de participação de 20%, 75% e 5% respectivamente nas regiões plana, ondulada e montanhosa, percentuais obtidos na análise dos trechos pesquisados.

O valor final para o Custo Fixo Básico é de,

$$\mathbf{CF_0 = 4.301,00}$$

expresso em dólares por quilômetro de rodovia por ano.

8.1.2 CUSTO FIXO DO PAVIMENTO- OPERAÇÕES NO PAVIMENTO

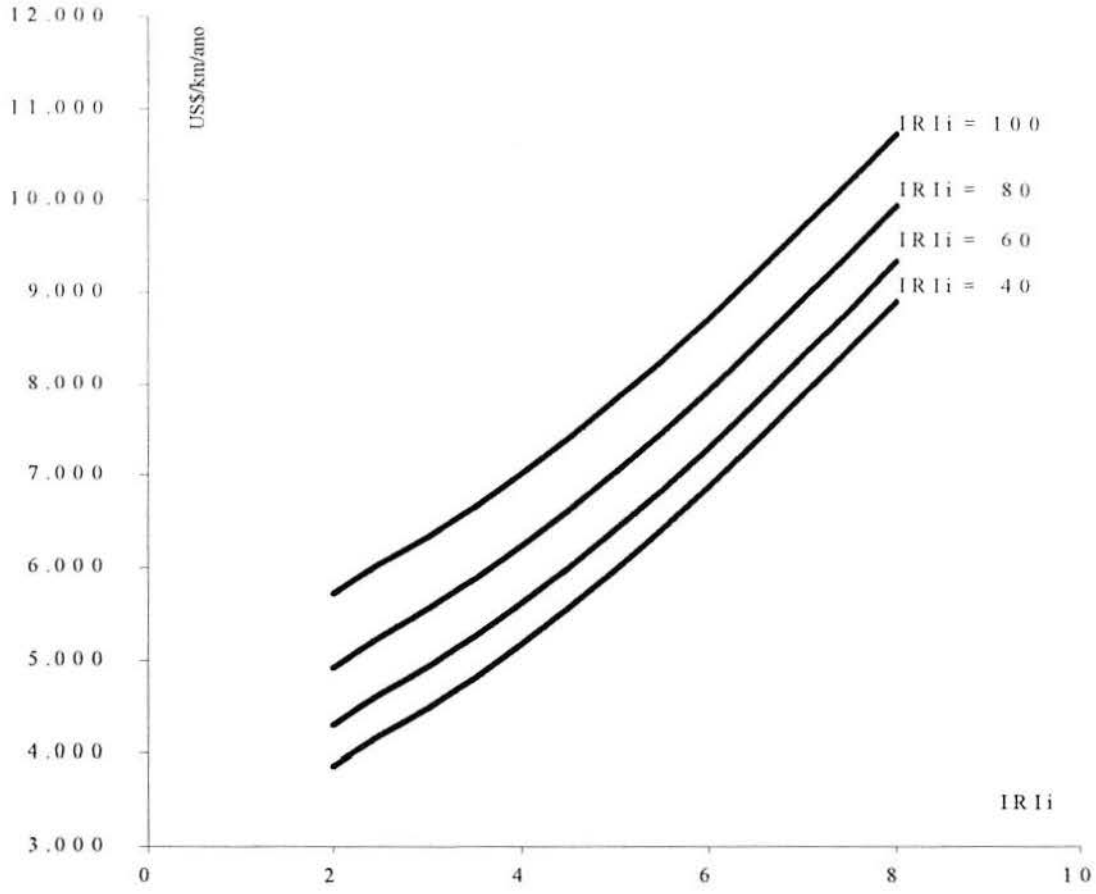
O custo fixo de manutenção do pavimento é determinado pela equação (5) ,

$$\mathbf{CF_{pav} = 2.793 + 254 \times IRI_i^{1,5} + 0,22 \times REC^2}, \quad (5)$$

sendo os valores expressos em US$/km/ano.

O gráfico da figura 1 mostra a evolução dos valores do custo fixo de manutenção do pavimento em função do Índice de Irregularidade Longitudinal no início do período de análise, IRI_i, e da espessura do recapeamento utilizado, REC.

Figura 1 - **CUSTO FIXO DE MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO X IRI_i**



8.1.3 CUSTO FIXO TOTAL DE MANUTENÇÃO

Sendo o custo fixo de manutenção obtido pela soma do custo fixo básico mais o custo fixo de manutenção do pavimento, ou,

$$CF = CF_0 + CF_{pav}, \quad (9)$$

a expressão final para os valores do custo fixo total de manutenção é,

$$\mathbf{CF = 7.094 + 254 \times IRI_i^{1,5} + 0{,}216 \times REC^2}, \quad (10)$$

sendo os valores expressos em US$/km/ano.

8.2 CUSTO VARIÁVEL TOTAL DE MANUTENÇÃO

O custo variável total de manutenção corresponde a parcela variável do custo de manutenção do pavimento, ou seja,

$$CV = CV_{pav}, \quad (11)$$

ou,

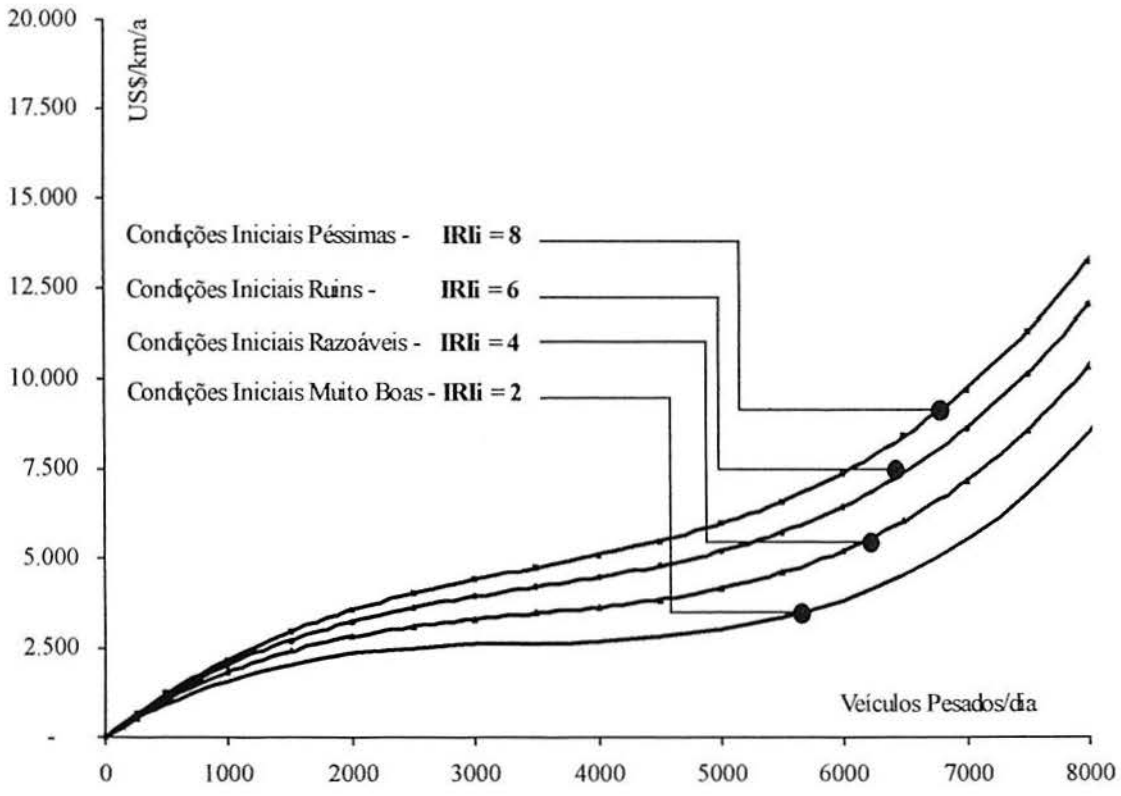
$$CV = -0{,}03 \times IRI_i^{1,5} \times NVP + 1{,}8 \times 10^{-5} \times REC^2 \times NVP + \ldots$$

$$\ldots + 2{,}8 \times NVP - 0{,}0006 \times NPV^2 + 5{,}8 \times 10^{-8} \times NPV^3, \quad (12)$$

sendo os valores expressos em US$/km/ano.

O gráfico da figura 2 mostra a evolução do custo variável total de manutenção em função do tráfego de veículos pesados.

Figura 2 - **CUSTO VARIÁVEL DE MANUTENÇÃO X /NUM. VEÍCULOS PESADOS**



8.3 CUSTO TOTAL DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA

O custo total de manutenção corresponde a soma de todas as parcelas anteriormente vistas, ou seja,

$$CTM = CF + CV, \quad (13)$$

ou,

$$CTM = CF_0 + CF_{pav} + CV_{pav}, \quad (14)$$

logo,

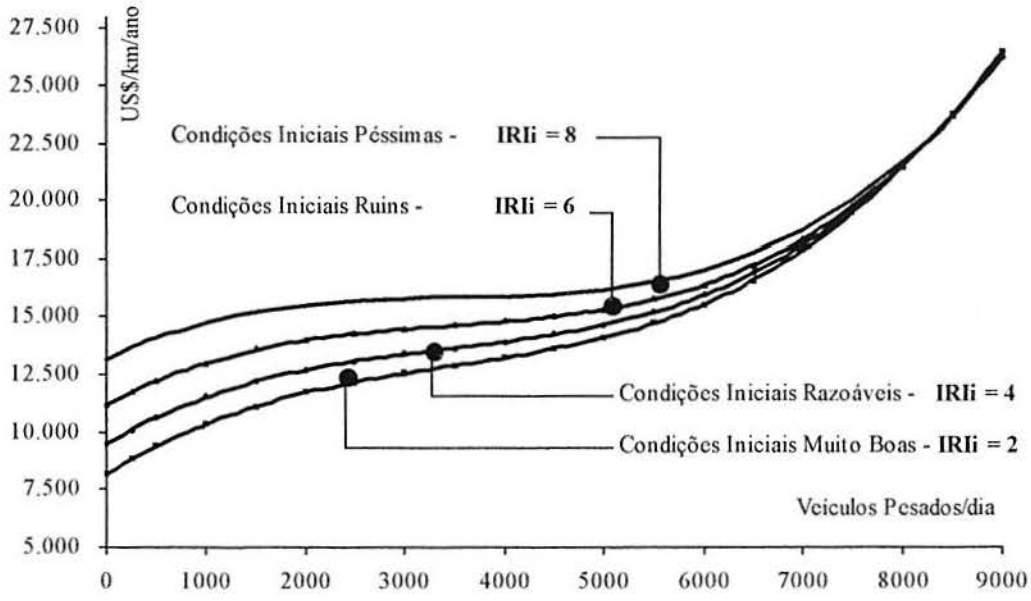
$$CTM = 7.094 + 254 \times IRI_i^{1,5} + 0,22 \times REC^2 - 0,03 \times IRI_i^{1,5} \times NVP + ...$$

$$... + 1,8 \times 10^{-5} \times REC^2 \times NPV + 2,8 \times NVP - 0,0006 \times NPV^2 + 5,8 \times 10^{-8} \times NPV^3, \quad (15)$$

com os valores expressos em US$/km/ano.

O gráfico da figura 3 mostra a evolução do custo total de manutenção em função da condições iniciais de conservação e do número de veículos pesados que trafegam por dia pela rodovia.

Figura 3- **CUSTO TOTAL DE MANUTENÇÃO X NUM. VEÍCULOS PESADOS**



8.4 CUSTO FIXO POR EIXO EQUIVALENTE DE OCUPAÇÃO

O custo fixo por eixo equivalente de ocupação, designado por CF_{ee}, é resultado da simples divisão do custo total fixo de manutenção pelo número total de eixos equivalentes de ocupação, designado por NEE_o que passam pela rodovia em um ano, ou seja,

$$CF_{ee} = 100 \times CF \div NEE_o, \quad (16)$$

onde, CF é expresso em US$/km/ano, NEE_o em eixos/ano, decorrendo que, CF_{ee} é expresso em ¢$/km, centavos de dólar por quilômetro de rodovia.

8.4.1 NÚMERO TOTAL DE EIXOS EQUIVALENTES DE OCUPAÇÃO

O número total de eixos que trafegam em uma via é composto pelo total dos eixos dos veículos leves mais o total dos eixos dos veículos pesados. Evidentemente que os veículos pesados possuem, em termos de ocupação da via, níveis superiores aos dos leves, variando de 1,7 até 8,0 vezes o eixo-padrão, conforme o tipo de região onde se desenvolve a rodovia. Anteriormente, com base nos valores de ocupação de via preconizados pelo HCM para os diferentes veículos, foram determinadas as parcelas correspondentes a cada eixo de cada tipo de veículo, sendo estabelecidos então os valores para os fatores de ocupação de eixo, os quais correspondem, simplesmente, ao fator de ocupação do HCM dividido pelo número de eixos do veículo.

Utilizando o veículo pesado equivalente com 3 eixos e os veículos leves com 2 eixos temos,

$$\mathbf{NEEo = (2 \times NVL \times 0{,}50 + 3 \times NVP \times 1{,}25) \times 365,} \quad (17)$$

ou,

$$\mathbf{NEEo = (NVL + 3{,}75 \times NVP) \times 365,} \quad (18)$$

onde,

- $\mathbf{NEE_o}$, expresso em eixos/ano, corresponde ao número de eixos equivalente de ocupação da via que por ela circulam em um ano,
- **NVL**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo médio diário de veículos leves que circula pela via,
- **NVP**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo médio diário de veículos pesados que circula pela via,
- **0,50**, corresponde ao fator de ocupação de eixo de um veículo leve com 2 eixos,
- **1,25**, corresponde ao fator de ocupação de eixo de um veículo pesado com 3 eixos, determinado através da média ponderada desse fatores para as regiões plana, ondulada e montanhosa ,e com as respectivas ponderações de 20%, 75% e 5%.

A tabela 13 apresenta o número de eixos equivalentes de ocupação em função do tráfego total e da percentagem de veículos pesados.

Como o número total de veículos que trafegam em um dia em um trecho da rodovia é igual a soma do número de veículos leves e do número de veículos pesados, sendo que esse número de veículos pesados corresponde a uma percentagem de veículos pesados em relação

ao fluxo total, é possível também estimar o número total de eixos equivalentes de ocupação pela equação,

$$\mathbf{NEE_o = (730 + 3.387 \times PVP) \times TMDA}, \quad (19)$$

onde,

- **TMDA**, expresso em veículos/dia corresponde ao fluxo total, médio, diário e anual de veículos, que circulam pela rodovia nos dois sentidos,
- **PVP**, expresso em decimais, corresponde a parcela de veículos pesados.

Tabela 13 - **NÚMERO DE EIXOS EQUIVALENTES DE OCUPAÇÃO**

TMDA	PVP	NVL	NVP	NEE_o
667	15,0%	567	100	825.387
1.007	15,0%	856	151	1.246.334
1.513	15,0%	1.286	227	1.873.628
2.273	15,0%	1.932	341	2.814.569
3.420	15,0%	2.907	513	4.234.234
5.147	15,0%	4.375	772	6.371.985
7.747	15,0%	6.585	1.162	9.590.993
668	22,6%	517	151	999.211
1.004	22,6%	777	227	1.502.124
1.509	22,6%	1.168	341	2.256.495
2.270	22,6%	1.757	513	3.394.669
3.416	22,6%	2.644	772	5.108.547
5.142	22,6%	3.980	1.162	7.689.289
7.739	22,6%	5.990	1.749	11.573.638
668	34,0%	441	227	1.256.277
1.003	34,0%	662	341	1.887.182
1.509	34,0%	996	513	2.839.075
2.271	34,0%	1.499	772	4.272.448
3.418	34,0%	2.256	1.162	6.430.809
5.144	34,0%	3.395	1.749	9.679.419
7.741	34,0%	5.109	2.632	14.566.169
667	51,1%	326	341	1.642.178
1.004	51,1%	491	513	2.470.491
1.511	51,1%	739	772	3.717.776
2.274	51,1%	1.112	1.162	5.595.926
3.423	51,1%	1.674	1.749	8.422.784
5.151	51,1%	2.519	2.632	12.675.110
7.751	51,1%	3.790	3.961	19.075.271
666	77,0%	153	513	2.223.984
1.003	77,0%	231	772	3.346.815
1.509	77,0%	347	1.162	5.037.563
2.271	77,0%	522	1.749	7.582.356
3.418	77,0%	786	2.632	11.410.383
5.144	77,0%	1.183	3.961	17.171.933
7.743	77,0%	1.781	5.962	25.846.772

8.4.2 CUSTO FIXO POR EIXO EQUIVALENTE DE OCUPAÇÃO

O custo fixo de manutenção para cada eixo equivalente de ocupação é determinado pela equação,

$$\mathbf{CF_{ee} = 280 \times IRI_i^{0,3} \times REC^{0,2} \times PVP^{-0,5} \times TMDA^{-1}}, \quad (20)$$

expresso em US¢$/km, obtida através de regressão múltipla a partir dos resultados de 750 observações e com coeficiente de determinação $R^2 = 0,99$, onde,

- **IRI_i**, expresso em m/km, corresponde ao Índice de Irregularidade Longitudinal do pavimento no instante inicial da análise,
- **REC**, expresso em mm, corresponde a espessura do recapeamento previsto em cada uma das estratégias propostas,
- **TMDA**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo total, médio, diário e anual de veículos que circulam pela rodovia nos dois sentidos,
- **PVP**, expresso em decimais, corresponde a parcela de veículos pesados.

8.5 CUSTO VARIÁVEL POR EIXO EQUIVALENTE DE CARGA

O custo variável por eixo equivalente de carga, designado por CV_{ee}, é, à semelhança do custo fixo, resultado da divisão do custo total variável de manutenção pelo número total de eixos equivalentes de carga, designado por NEE_c que passam pela rodovia em um ano, ou seja,

$$\mathbf{CV_{ee} = 100 \times CV \div NEE_c}, \quad (21)$$

ou,

$$\mathbf{CV_{ee} = 100 \times CV_{pav} \div NEE_c}, \quad (22)$$

onde, CV e CV_{pav} são expressos em US$/km/ano, NEE_c em eixos/ano e CV_{ee} é expresso em ¢$/km, centavos de dólar por quilômetro de rodovia.

8.5.1 NÚMERO TOTAL DE EIXOS EQUIVALENTES DE CARGA

O número total de eixos de carga que trafegam em uma via é determinado pelo total de veículos de carga que trafegam ao longo de um ano pela rodovia multiplicado pelos correspondentes fatores de veículo. Evidentemente que, para a determinação do número de eixos equivalentes de carga são considerados somente os veículos pesados, uma vez que os veículos leves são considerados como tendo fator de veículo igual a zero.

Utilizando o veículo pesado equivalente com fator de veículo, anteriormente estabelecido para as cargas legais permitidas, de 4,648 eixos equivalentes de carga temos o seguinte,

$$\mathbf{NEE_c = NVP \times 4{,}648 \times 365,} \quad (23)$$

ou,

$$\mathbf{NEE_c = 1.697 \times NVP,} \quad (24)$$

onde,

- **NEE_c**, expresso em eixos/ano, corresponde ao número de eixos equivalente de carga que circulam em um ano,
- **NVP**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo médio diário de veículos pesados que circula pela via.

Como o número total de veículos que trafegam em um dia é igual a soma do número de veículos leves mais o número de veículos pesados, e esse número de veículos pesados corresponde a uma percentagem de veículos pesados em relação ao fluxo total, é possível também estimar o número total de eixos equivalentes de ocupação através da equação,

$$\mathbf{NEE_o = 1.697 \times PVP \times TMDA,} \quad (25)$$

onde,

- **TMDA**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo total, médio, diário e anual de veículos que circulam pela rodovia nos dois sentidos,
- **PVP**, expresso em centésimos, corresponde a parcela de veículos pesados.

A tabela 14 apresenta o número de eixos equivalentes de carga em função do tráfego e porcentagem de veículos pesados.

8.5.2 CUSTO VARIÁVEL POR EIXO EQUIVALENTE DE CARGA

O custo variável de manutenção para cada eixo equivalente de carga é determinado pela equação,

$$\mathbf{CV_{ee} = 10{,}28 \times IRIi^{-1{,}12} \times REC^{-0{,}07} \times PVP^{-0{,}39} \times TMDA^{-0{,}37},} \quad (26)$$

expresso em US¢$/km, obtida através de regressão múltipla a partir dos resultados de 713 observações e com coeficiente de determinação $R^2 = 0{,}73$, onde,

- **IRI_i**, expresso em m/km, corresponde ao Índice de Irregularidade Longitudinal do pavimento no instante inicial da análise,

- **REC**, expresso em mm, corresponde a espessura do recapeamento previsto em cada uma das estratégias propostas,
- **TMDA**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo total, médio, diário e anual de veículos, que circulam pela rodovia nos dois sentidos,
- **PVP**, expresso em centésimos, corresponde a parcela de veículos pesados.

Tabela 14 - **NÚMERO DE EIXOS EQUIVALENTES DE CARGA**

TMDA	PVP	NVL	NVP	NEE_o
667	15,0%	567	100	169.652
1.007	15,0%	856	151	256.175
1.513	15,0%	1.286	227	385.110
2.273	15,0%	1.932	341	578.513
3.420	15,0%	2.907	513	870.315
5.147	15,0%	4.375	772	1.309.713
7.747	15,0%	6.585	1.162	1.971.356
668	22,6%	517	151	256.175
1.004	22,6%	777	227	385.110
1.509	22,6%	1.168	341	578.513
2.270	22,6%	1.757	513	870.315
3.416	22,6%	2.644	772	1.309.713
5.142	22,6%	3.980	1.162	1.971.356
7.739	22,6%	5.990	1.749	2.967.213
668	34,0%	441	227	385.110
1.003	34,0%	662	341	578.513
1.509	34,0%	996	513	870.315
2.271	34,0%	1.499	772	1.309.713
3.418	34,0%	2.256	1.162	1.971.356
5.144	34,0%	3.395	1.749	2.967.213
7.741	34,0%	5.109	2.632	4.465.241
667	51,1%	326	341	578.513
1.004	51,1%	491	513	870.315
1.511	51,1%	739	772	1.309.713
2.274	51,1%	1.112	1.162	1.971.356
3.423	51,1%	1.674	1.749	2.967.213
5.151	51,1%	2.519	2.632	4.465.241
7.751	51,1%	3.790	3.961	6.719.916
666	77,0%	153	513	870.315
1.003	77,0%	231	772	1.309.713
1.509	77,0%	347	1.162	1.971.356
2.271	77,0%	522	1.749	2.967.213
3.418	77,0%	786	2.632	4.465.241
5.144	77,0%	1.183	3.961	6.719.916
7.743	77,0%	1.781	5.962	10.114.652

– CAPÍTULO 9 –

CUSTO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA POR VEÍCULO
IMPACTO OU RESPONSABILIDADE DOS VEÍCULOS NA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA
ESTRUTURAS TARIFÁRIAS E DE ALOCAÇÃO DE CUSTOS

9.1 CUSTO FIXO DE MANUTENÇÃO POR VEÍCULO

O custo fixo de manutenção atribuído à cada tipo de veículo é determinado pela multiplicação do custo fixo de cada eixo equivalente de ocupação pelo fator de ocupação de cada tipo de veículo,

$$CF_{Veic} = FOV \times CF_{ee}, \quad (27)$$

Deste modo então, o valor do custo fixo de manutenção para cada tipo de veículos é determinado pela equação,

$$\mathbf{CF_{Veic} = FOV \times 280 \times IRI_i^{0,3} \times REC^{0,2} \times PVP^{-0,5} \times TMDA^{-1}}, \quad (28)$$

expresso em US¢$/km, onde,

- **FOV**, expresso em número de eixos equivalentes de ocupação, corresponde ao fator de ocupação de cada tipo de veículo,
- **IRI_i**, expresso em m/km, corresponde ao Índice de Irregularidade Longitudinal do pavimento no instante inicial da análise,
- **REC**, expresso em mm, corresponde a espessura do recapeamento previsto em cada uma das estratégias propostas,
- **PVP**, expresso em decimais, corresponde a parcela de veículos pesados no fluxo total.

Sendo utilizadas as características médias das rodovias analisadas onde,

- índice de irregularidade longitudinal inicial,
  - IRIi = 4,00 m/km,
- espessura do revestimento,
  - REC = 40 mm,
- fluxo total de veículos,
  - TMDA mínimo = 1.304 veículos/dia,

- TMDA médio = 3.607 veículos/dia,
- TMDA máximo = 5.153 veículos/dia,

- fluxo de veículos pesados,
  - PVP mínimo = 25,68%, ou 0,2568
  - PVP médio = 34,90%, ou 0,3490
  - PVP máximo = 52,85%, ou 0,5285

o custo fixo de manutenção fica avaliado em,

- para automóvel com FOV = 1,00,
  - em condições de tráfego mínimo, $CF_{Veic} = 1,40$
  - em condições de tráfego médio, $CF_{Veic} = 0,45$
  - em condições de tráfego máximo, $CF_{Veic} = 0,24$
- para caminhões com valor médio de FOV = 3,75,
  - em condições de tráfego mínimo, $CF_{Veic} = 5,25$
  - em condições de tráfego médio, $CF_{Veic} = 1,69$
  - em condições de tráfego máximo, $CF_{Veic} = 0,90$

No quadro 4, é apresentado um resumo dos diversos valores determinados para os diferentes tipos de veículos.

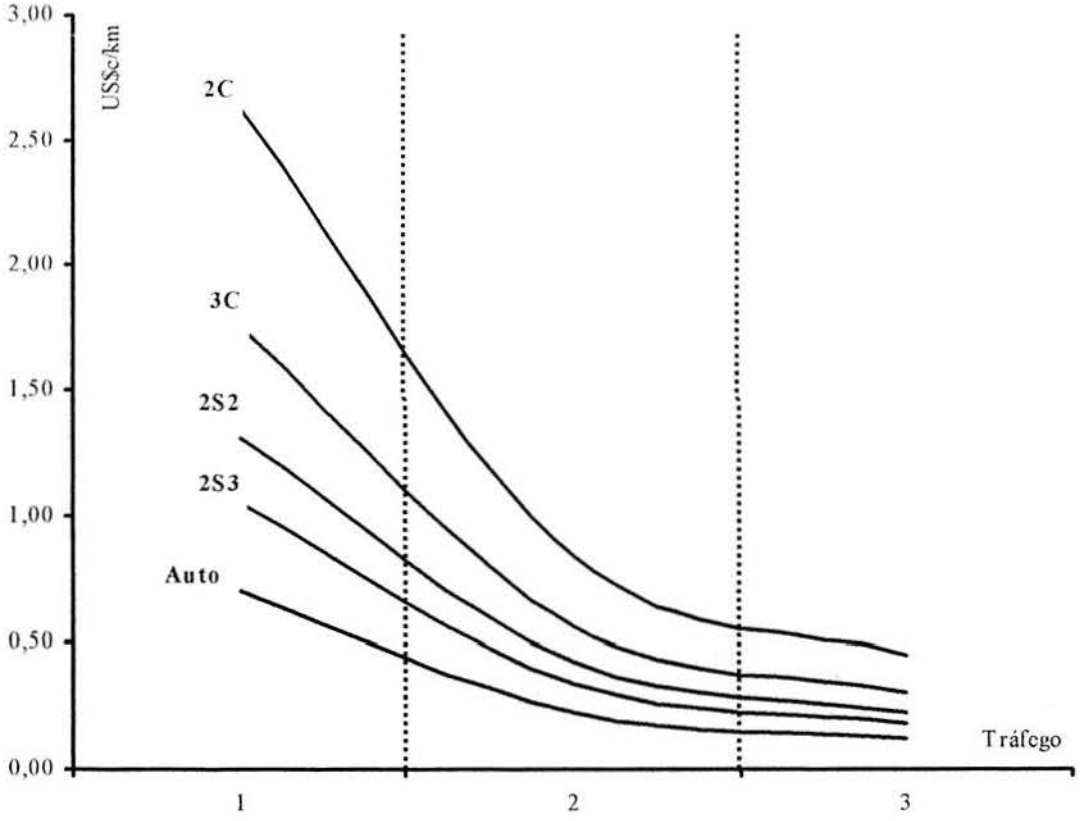
Quadro 4 - **CUSTO FIXO DE MANUTENÇÃO DOS VEÍCULOS**

TIPO	TRÁFEGO	CUSTO/VEÍCULO	CUSTO/EIXO
Automóveis	mínimo	1,40	0,700
	médio	**0,45**	**0,225**
	máximo	0,24	0,120
Caminhão Leve 2 Eixos - **2 C**	mínimo	5,25	2,625
	médio	**1,69**	**0,845**
	máximo	0,90	0,450
Caminhão Médio 3 Eixos - **3 C**	mínimo	5,25	1,750
	médio	**1,69**	**0,563**
	máximo	0,90	0,300
Caminhão Pesado 4 Eixos - **2 S 2**	mínimo	5,25	1,313
	médio	**1,69**	**0,423**
	máximo	0,90	0,225
Caminhão Super-Pesado 5 Eixos - **2 S 3**	mínimo	5,25	1,050
	médio	**1,69**	**0,338**
	máximo	0,90	0,180

Valores expressos em US¢/km.

No gráfico da figura 4 são mostrados estes valores em função das condições, condição de tráfego mínimo, **1**, condição de tráfego médio, **2**, e condição de tráfego máximo, **3**.

Figura 4 - CUSTO FIXO POR EIXO DOS VEÍCULOS X VOLUME DE TRÁFEGO



9.2 CUSTO VARIÁVEL DE MANUTENÇÃO POR VEÍCULO

O custo variável de manutenção imposto a cada tipo de veículo é determinado pela multiplicação do custo variável de cada eixo equivalente de carga pelo fator de carga ou número de eixos equivalentes de cada tipo de veículo.

Deste modo, o valor do custo variável de manutenção para os veículos é determinado pela equação,

$$CV_{Veic} = FV \times CV_{ee}, \quad (29)$$

ou,

$$\mathbf{CV_{Veic} = FV \times 10{,}28 \times IRIi^{1{,}12} \times REC^{-0{,}07} \times PVP^{-0{,}39} \times TMDA^{-0{,}37}}, \quad (30)$$

expresso em US¢$/km, onde,

- **FV**, expresso em número de eixos equivalentes de carga, corresponde ao fator de carga de cada tipo de veículo,
- **IRI_i**, expresso em m/km, corresponde ao Índice de Irregularidade Longitudinal do pavimento no instante inicial da análise,
- **REC**, expresso em mm, corresponde a espessura do recapeamento previsto em cada uma das estratégias propostas,
- **TMDA**, expresso em veículos/dia, corresponde ao fluxo total, médio, diário e anual de veículos, que circulam pela rodovia nos dois sentidos,
- **PVP**, expresso em decimais, corresponde a parcela de veículos pesados.

Sendo utilizadas as mesmas características médias para as rodovias citadas no custo fixo o custo variável de manutenção para veículos leves com FV = 0 , em qualquer condição de tráfego o resultado é,

$$CV_{Veic} = 0{,}00 \text{ US¢/km.}$$

Para veículos pesados, com peso excedente em até 17% ao legal permitido nos eixos traseiros, o custo variável de manutenção é de,

- para caminhão leve com 2 eixos e FV = 4,290
  - em condições de tráfego mínimo, $CV_{Veic} = 0{,}86$
  - em condições de tráfego médio, $CV_{Veic} = 0{,}52$
  - em condições de tráfego máximo, $CV_{Veic} = 0{,}39$
- para caminhão médio com 3 eixos e FV = 6,279
  - em condições de tráfego mínimo, $CV_{Veic} = 1{,}25$
  - em condições de tráfego médio, $CV_{Veic} = 0{,}76$
  - em condições de tráfego máximo, $CV_{Veic} = 0{,}57$
- para caminhão articulado pesado com 4 eixos e FV = 10,335
  - em condições de tráfego mínimo, $CV_{Veic} = 2{,}06$
  - em condições de tráfego médio, $CV_{Veic} = 1{,}26$
  - em condições de tráfego máximo, $CV_{Veic} = 0{,}93$
- para caminhão articulado super-pesado com 5 eixos e FV = 10,780
  - em condições de tráfego mínimo, $CV_{Veic} = 2{,}15$
  - em condições de tráfego médio, $CV_{Veic} = 1{,}31$
  - em condições de tráfego máximo, $CV_{Veic} = 0{,}97$

Para veículos pesados com peso igual ao legal permitido o custo variável de manutenção é de,

- para caminhão leve com 2 eixos e FV = 2,938
  - em condições de tráfego mínimo, $CV_{Veic} = 0,59$
  - em condições de tráfego médio, $CV_{Veic} = 0,36$
  - em condições de tráfego máximo, $CV_{Veic} = 0,26$
- para caminhão médio com 3 eixos e FV = 3,896
  - em condições de tráfego mínimo, $CV_{Veic} = 0,78$
  - em condições de tráfego médio, $CV_{Veic} = 0,47$
  - em condições de tráfego máximo, $CV_{Veic} = 0,35$
- para caminhão articulado pesado com 4 eixos e FV = 6,151
  - em condições de tráfego mínimo, $CV_{Veic} = 1,23$
  - em condições de tráfego médio, $CV_{Veic} = 0,75$
  - em condições de tráfego máximo, $CV_{Veic} = 0,55$
- para caminhão articulado super-pesado com 5 eixos e FV = 7,559
  - em condições de tráfego mínimo, $CV_{Veic} = 1,51$
  - em condições de tráfego médio, $CV_{Veic} = 0,92$
  - em condições de tráfego máximo, $CV_{Veic} = 0,68$

No quadro 5 é feito um resumo dos diversos valores determinados para os diferentes tipos de veículos.

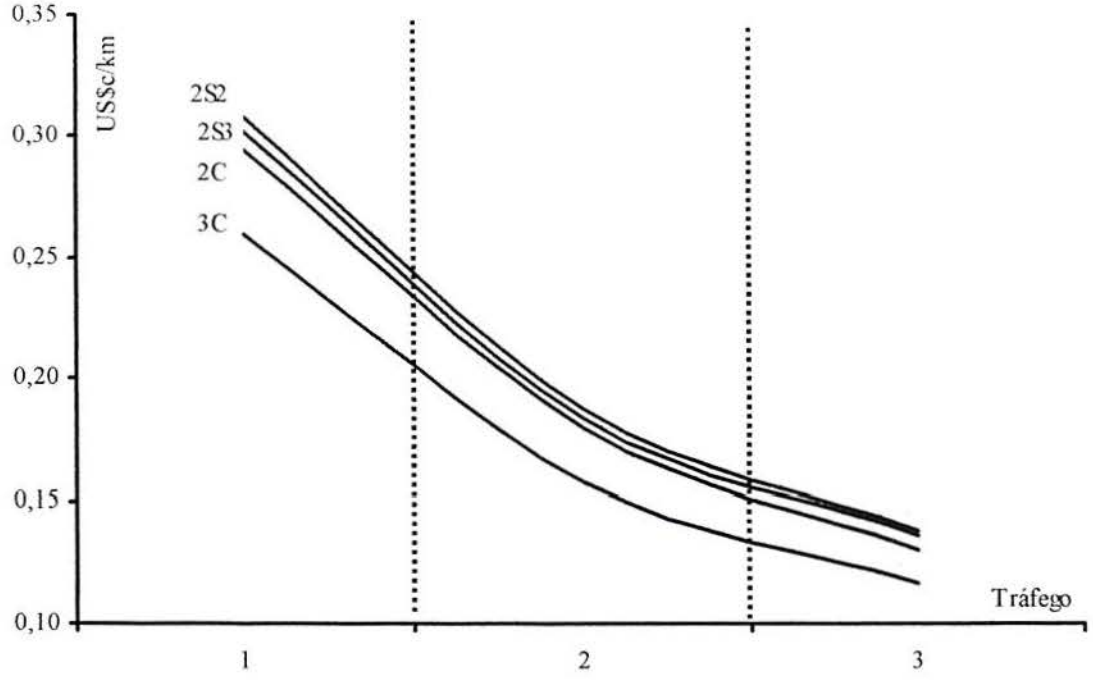
Quadro 5 - **CUSTO VARIÁVEL DE MANUTENÇÃO DOS VEÍCULOS**

TIPO	TRÁFEGO	CARGA LEGAL		COM EXCESSO	
		Custo/Veículo	Custo/Eixo	Custo/Veículo	Custo/Eixo
Automóveis	qualquer	0,00	0,000	0,00	0,00
Caminhão Leve 2 Eixos **2 C**	mínimo	0,59	0,295	0,86	0,430
	médio	**0,36**	**0,180**	**0,52**	**0,260**
	máximo	0,26	0,130	0,39	0,195
Caminhão Médio 3 Eixos - **3 C**	mínimo	0,78	0,260	1,25	0,417
	médio	**0,47**	**0,157**	**0,76**	**0,253**
	máximo	0,35	0,117	0,57	0,190
Caminhão Pesado 4 Eixos - **2 S 2**	mínimo	1,23	0,308	2,06	0,515
	médio	**0,75**	**0,188**	**1,26**	**0,315**
	máximo	0,55	0,138	0,93	0,233
Caminhão Super-Pesado 5 Eixos - **2 S 3**	mínimo	1,51	0,302	2,15	0,430
	médio	**0,92**	**0,184**	**1,31**	**0,262**
	máximo	0,68	0,136	0,97	0,194

Valores expressos em US ¢/km.

No gráfico da figura 5 são mostrados os valores para a condição com carga legal e em função das condições de tráfego mínimo (**1**), condição de tráfego médio(**2**) e condição de tráfego máximo(**3**).

Figura 5 - **CUSTO VARIÁVEL POR EIXO DOS VEÍCULOS X VOLUME DE TRÁFEGO**



9.3 RESPONSABILIDADE DOS VEÍCULOS NA MANUTENÇÃO

O custo total de manutenção imposto a cada tipo de veículo, ou melhor, dizendo, a responsabilidade de cada veículo na manutenção rodoviária, em termos monetários, corresponde ao somatório dos respectivo custos de manutenção por ele provocado à rodovia.

O custo total de manutenção para cada tipo de veículo é determinado a partir da soma do custo fixo mais o variável de cada tipo de veículo, ou,

$$CTM_{Veic} = CF_{Veic} + CV_{Veic}, \quad (31)$$

Sendo utilizados os valores dos custos, fixo e variável, anteriormente determinados, os valores para o custo total de manutenção para os veículos são,

- para automóveis,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 1,40 + 0,00 = 1,40$

- em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 0,45 + 0,00 = 0,45$
- em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0,24 + 0,00 = 0,24$

Para veículos pesados com até 17% de excesso de peso nos eixos traseiros o custo total de manutenção é de,

- para caminhão leve com 2 eixos,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 5,25 + 0,86 = 6,11$
  - em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 1,69 + 0,52 = 2,21$
  - em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0, 90 + 0,39 = 1,29$
- para caminhão médio com 3 eixos,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 5,25 + 1,25 = 6,50$
  - em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 1,69 + 0,76 = 2,45$
  - em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0,90 + 0,57 = 1,47$
- para caminhão articulado pesado com 4 eixos,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 5,25 + 2,06 = 7,31$
  - em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 1,69 + 1,26 = 2,95$
  - em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0,90 + 0,93 = 1,83$
- para caminhão articulado super-pesado com 5 eixos,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 5,25 + 2,15 = 7,40$
  - em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 1,69 + 1,31 = 3,00$
  - em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0,90 + 0,97 = 1,87$

Para veículos pesados com peso igual ao legal permitido o custo variável de manutenção é de,

- para caminhão leve com 2 eixos,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 5,25 + 0,59 = 5,84$
  - em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 1,69 + 0,36 = 2,05$
  - em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0,90 + 0,26 = 1,16$
- para caminhão médio com 3 eixos,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 5,25 + 0,78 = 6,03$
  - em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 1,69 + 0,47 = 2,16$
  - em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0,90 + 0,35 = 1,25$
- para caminhão articulado pesado com 4eixos,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 5,25 + 1,23 = 6,48$

- em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 1,69 + 0,75 = 2,44$
- em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0,90 + 0,55 = 1,45$

- para caminhão articulado super-pesado com 5 eixos,
  - em condições de tráfego mínimo, $CTM_{Veic} = 5,25 + 1,51 = 6,76$
  - em condições de tráfego médio, $CTM_{Veic} = 1,69 + 0,92 = 2,61$
  - em condições de tráfego máximo, $CTM_{Veic} = 0,90 + 0,68 = 1,58$

O quadro 6 mostra os valores do custo total de manutenção imposto aos diferentes tipos de veículos, os quais referem a responsabilidade de cada veículo na manutenção rodoviária.

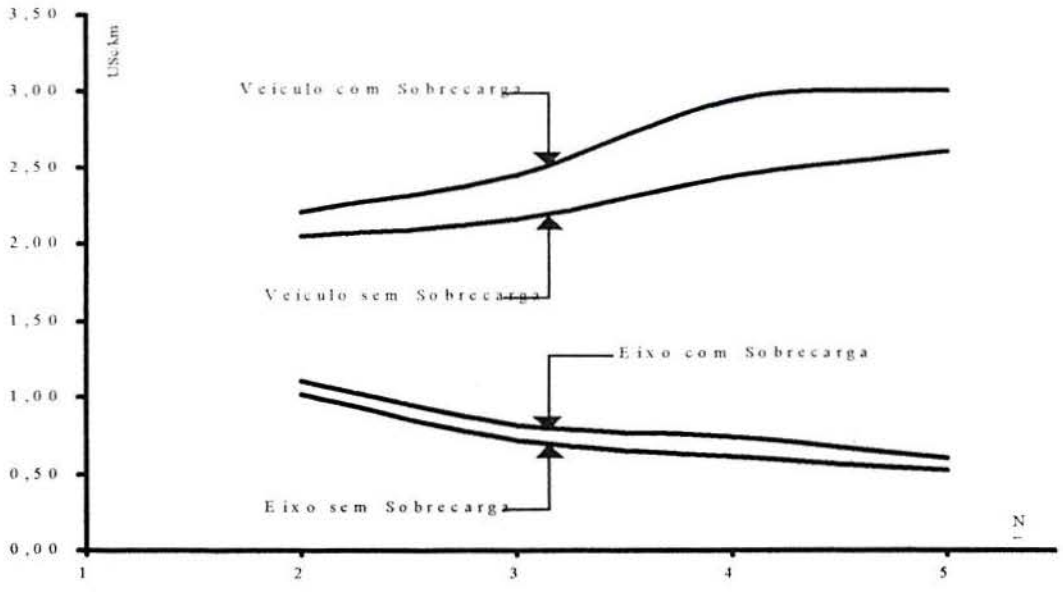
Quadro 6 - **CUSTO TOTAL DE MANUTENÇÃO DOS VEÍCULOS**

TIPO	TRÁFEGO	CARGA LEGAL		COM EXCESSO	
		Custo/Veículo	Custo/Eixo	Custo/Veículo	Custo/Eixo
Automóveis	mínimo	1,40	0,700	-	-
	médio	**0,45**	**0,225**	-	-
	máximo	0,24	0,120	-	-
Caminhão Leve 2 Eixos **2 C**	mínimo	5,84	2,92	6,11	3,055
	médio	**2,05**	**1,025**	**2,21**	**1,105**
	máximo	1,16	0,580	1,29	0,645
Caminhão Médio 3 Eixos - **3 C**	mínimo	6,03	2,010	6,50	2,167
	médio	**2,16**	**0,720**	**2,45**	**0,817**
	máximo	1,25	0,417	1,47	0,490
Caminhão Pesado 4 Eixos - **2 S 2**	mínimo	6,48	1,620	7,31	1,828
	médio	**2,44**	**0,610**	**2,95**	**0,738**
	máximo	1,45	0,363	1,83	0,458
Caminhão Super-Pesado 5 Eixos - **2 S 3**	mínimo	6,76	1,352	7,40	1,480
	médio	**2,61**	**0,522**	**3,00**	**0,600**
	máximo	1,58	0,316	1,87	0,374

Valores expressos em US¢/km.

No gráfico da figura 6 é mostrada a variação do custo de manutenção tanto por veículo, com por eixo, em função do número de eixos de cada tipo de caminhão possui e existência ou não de sobrecarga além da legal permitida.

Figura 6 - CUSTO TOTAL DE MANUTENÇÃO X NUM. DE EIXO DE CARGA



9.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS VEÍCULOS

Em geral, no âmbito rodoviário os parâmetros ou valores de determinada característica são mostradas não em valores absolutos referidos através de relações entre os tipos de veículos a fim de salientar as diferenças existentes entre eles. A seguir são calculados valores teóricos que representam monetariamente as responsabilidades dos veículos de forma comparativa ao dano que produzem ao sistema rodoviário, privilegiando inicialmente a responsabilidade dos automóveis e a seguir a responsabilidade do caminhão tomado como o padrão mais comum nas estradas (caminhão 3C). Finalmente faremos a comparação entre os veículos pesados transitando com e sem sobrecarga.

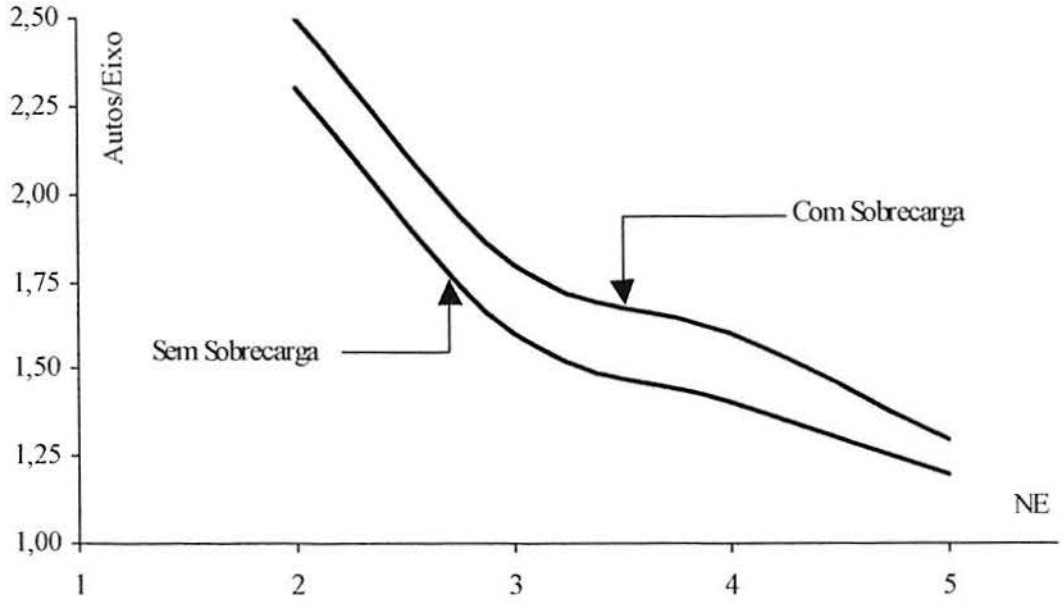
9.4.1 COMPARAÇÃO ENTRE O AUTOMÓVEL E OS VEÍCULOS PESADOS

Admitindo, para efeito de comparação, um valor básico de tarifa para um automóvel o valor de 0,45 US¢/km em condições de tráfego médio circulando normalmente em um determinado trecho da rodovia, serão apresentados os valores comparativos correspondentes a cada eixo dos diversos tipos de veículos pesados em situação normal e de sobrecarga, relacionando assim um termo de equivalência sobre o custo de cada eixo de cada veículo pesado em relação ao custo da tarifa de um automóvel

- para caminhão leve com 2 eixos,
  - com sobrecarga - 2,5 autos/eixo,
  - sem sobrecarga - 2,3 autos/eixo,
- para caminhão médio com 3 eixos,
  - com sobrecarga - 1,8 autos/eixo,
  - sem sobrecarga - 1,6 autos/eixo,
- para caminhão articulado pesado com 4 eixos,
  - com sobrecarga - 1,6 autos/eixo,
  - sem sobrecarga - 1,4 autos/eixo,
- para caminhão articulado super-pesado com 5 eixos,
  - com sobrecarga - 1,3 autos/eixo,
  - sem sobrecarga - 1,2 autos/eixo.

O gráfico da figura 7 mostra a relação do custo de manutenção de cada eixo de veículo pesado em relação ao custo de manutenção total de um automóvel.

Figura 7 - **CUSTO DE MANUTENÇÃO EIXO DE CARGA X AUTOMÓVEL**



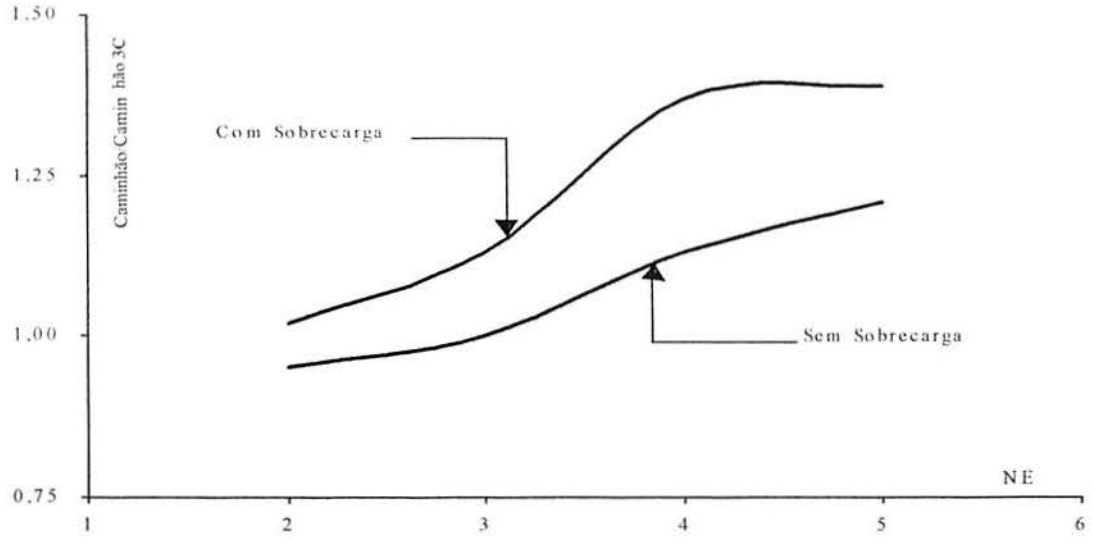
9.4.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS VEÍCULOS PESADOS

Admitindo, para efeito de comparação, como valor básico de tarifa para um caminhão médio com 3 eixos, uma vez que este tipo de veículo representa o veículo-padrão da frota de veículos pesados, o valor de 2,16 US¢/km em condições de tráfego médio circulando normalmente em um determinado trecho da rodovia, serão apresentados os valores comparativos correspondentes a cada eixo dos diversos tipos de veículos pesados em situação normal e de sobrecarga

- para caminhão leve com 2 eixos,
  - sem sobrecarga - 0,95
  - com sobrecarga - 1,02
- para caminhão médio com 3 eixos,
  - sem sobrecarga - 1,00
  - com sobrecarga - 1,13
- para caminhão articulado pesado com 4 eixos,
  - sem sobrecarga - 1,13
  - com sobrecarga - 1,37
- para caminhão articulado super-pesado com 5 eixos,
  - sem sobrecarga - 1,21
  - com sobrecarga - 1,39

No gráfico da figura 8 é mostrado a relação entre os custo de manutenção por eixo de cada tipo de caminhão e o custo para um caminhão com dois eixos. Observamos com esta comparação que é possível identificar a redução dos valores na medida em que o número total de eixos dos caminhões aumenta.

Figura 8 - CUSTOS DE MANUTENÇÃO CAMINHÃO X CAMINHÃO 3C



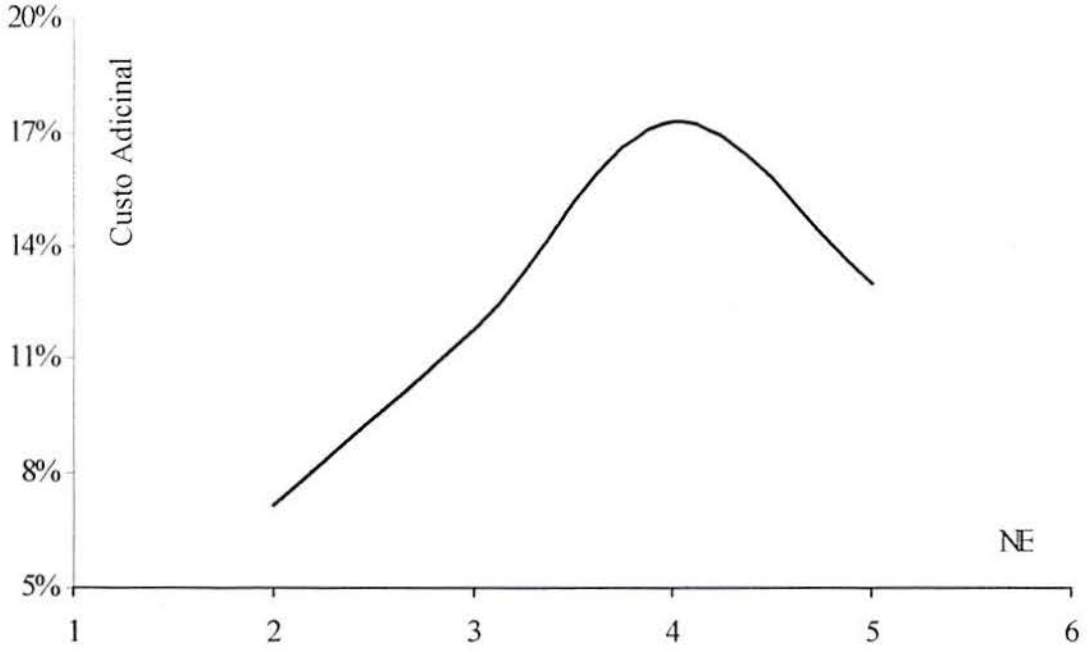
9.4.3 COMPARAÇÃO ENTRE VEÍCULOS COM E SEM SOBRECARGA

A partir dos resultados obtidos para os valores do custo de manutenção de cada eixo dos veículos pesados, o valor adicional de custo estimado em função da existência de 17% de sobrecarga nos eixos traseiros é,

- para caminhão leve com 2 eixos - 7,2%
- para caminhão médio com 3 eixos - 11,8%
- para caminhão articulado pesado com 4 eixos - 17,3%
- para caminhão articulado super-pesado com 5 eixos - 13,0%.

O gráfico da figura 9 mostra a evolução do acréscimo do valor do custo total de manutenção por veículo pesado devido a existência de uma sobrecarga, ou excesso de peso, nos eixos traseiros de 17%.

Figura 9 - CUSTO ADICIONAL DEVIDO A SOBRECARGA DE 17% X NUM. DE EIXOS DE CARGA



9.5 ESTRUTURA TARIFÁRIA E DE ALOCAÇÃO DE CUSTOS

As estrutura tarifárias, também chamadas de alocação de custos, são conjuntos de valores baseados em relações de equivalência entre os diferentes veículos e o respectiva influência que causam nos custos de manutenção das rodovias. É usual a utilização de parâmetros quantitativos para avaliar o impacto ou dano provocado pelo veículo, ou ainda a responsabilidade do automóvel relativa aos índices necessários para estabelecer um padrão de aferição na composição dos custos tarifários. Tomou-se como base o automóvel, que por decorrência assume o valor 1,0. Os demais veículos constantes na relação abaixo são representados pelas equivalências proporcionais a deste padrão.

9.5.1 ESTRUTURA TARIFÁRIA DO PECR

Os valores da estrutura tarifária do PECR, conforme SEVERO (1999) são,

- automóvel - 1,0
- caminhão leve com 2 eixos - 1,7

- caminhão médio com 3 eixos - 2,5
- caminhão articulado pesado com 4 eixos - 3,3
- caminhão articulado super-pesado com 5 eixos - 4,2

9.5.2 OUTRAS ESTRUTURA TARIFÁRIA E DE ALOCAÇÃO DE CUSTOS

A FHWA , conforme LEVISON & GUILLEN (1997), adota na estrutura de alocação dos custos rodoviários a equivalência de um automóvel para cada eixo equivalente de carga. Aplicando esse procedimento, os valores finais dos fatores de veículos de cada caminhão a estrutura fica assim composta,

- automóvel - 1,0
- caminhão leve com 2 eixos - 2,9
- caminhão médio com 3 eixos - 3,9
- caminhão articulado pesado com 4 eixos - 6,2
- caminhão articulado super-pesado com 5 eixos - 7,6

O DER de São Paulo, no seu programa de concessões, utiliza a equivalências de um automóvel por eixo efetivo de carga, decorrendo desta relação os seguintes valores,

- automóvel - 1,0
- caminhão leve com 2 eixos - 2,0
- caminhão médio com 3 eixos - 3,0
- caminhão articulado pesado com 4 eixos - 4,0
- caminhão articulado super-pesado com 5 eixos - 5,0

9.5.3 ESTRUTURA DE ALOCAÇÃO PROPOSTA

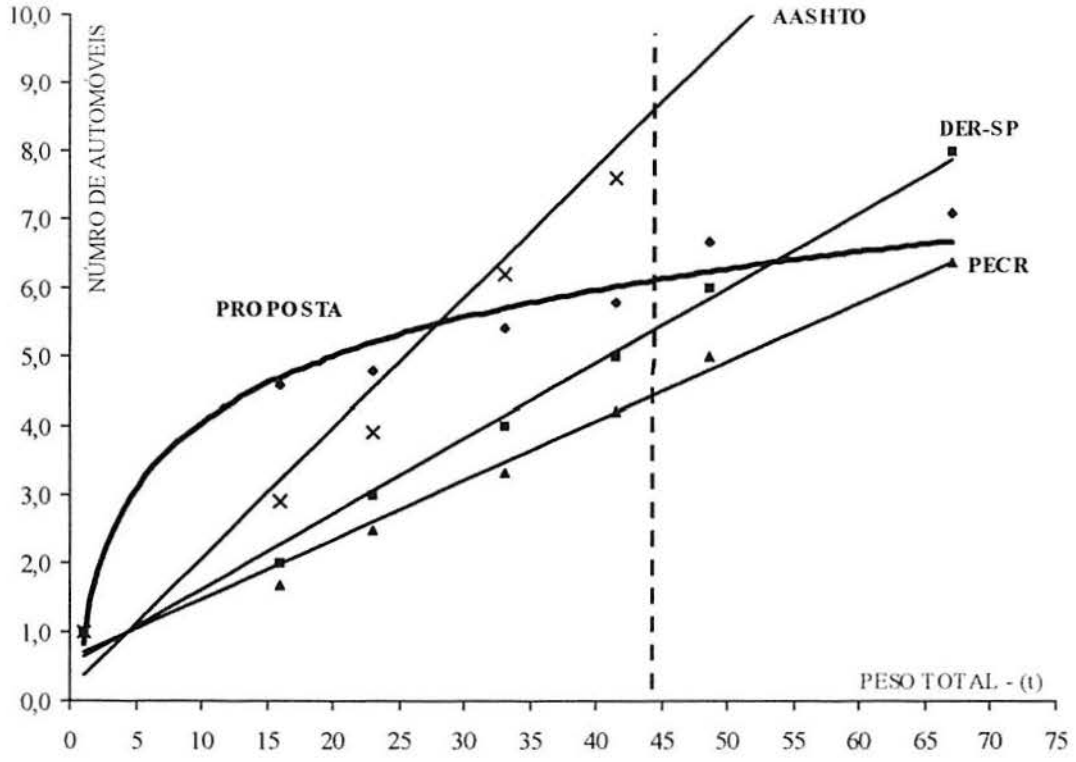
Uma estrutura de alocação de custos pode ser estabelecida a partir das responsabilidades dos veículos determinadas no presente trabalho. Tomando como base as relações de equivalência estabelecidas para condições médias de tráfego representadas pelo fluxo de caminhões sem sobre carga, a estrutura fica com os seguintes valores,

- automóvel - 1,0
- caminhão leve com 2 eixos - 4,6
- caminhão médio com 3 eixos - 4,8
- caminhão articulado pesado com 4 eixos - 5,4

- caminhão articulado super-pesado com 5 eixos - 5,8

No gráfico da figura 10, é mostrada a evolução das equivalências, em número de automóveis, dos caminhões em função do peso total deles,

Figura 10 - **EQUIVALÊNCIA X PESO DOS CAMINHÕES**



9.5.4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS ESTRUTURAS

Torna-se visível, a partir da análise do gráfico da figura 9, que existem diferenças significativas nos valores referentes aos mesmos veículos quando colocadas frente a cada uma das estruturas apresentadas. Como estes valores representam a responsabilidade dos veículos nos custos de manutenção, essa condição de diferença entre valores indica que a adoção de uma ou de outra estrutura produzirá estimativas diferentes para os custos de manutenção.

Considerando a hipótese de que os valores necessários à manutenção sejam os mesmos estimados nos procedimentos apresentados nesse trabalho, podemos inferir, com base no gráfico da figura 10, que até o limite de 45 t, as estruturas de alocação de custos do PECR e

DER-SP apresentam valores inferiores aos necessários, enquanto que, perante o padrão da AASHTO, os valores se tornam inferiores que os necessários no caso de caminhões com até 27 t, e superiores para caminhões com mais de 27 t. Isso indica que as estruturas desenvolvidas com base em incrementos de valores constantes para cada eixo dos caminhões produzem um favorecimento aos caminhões menores e uma penalização aos caminhões com maior número de eixos.

– CAPÍTULO 10 –

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

9.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho desenvolvido ao longo dos nove capítulos anteriores, de modo a atender os objetivos propostos, respeitando a abrangência declarada no Capítulo 1, conseguiu produzir um conjunto ordenado de informações que permite o entendimento da manutenção rodoviária com um todo, relacionando os aspectos temporais de implementação das operações de conservação com suas repercussões econômico-financeiras e, assim, possibilitando as conclusões que seguem.

1- Foram, no decorrer do desenvolvimento, produzidos mecanismos que permitem estimar os custos da manutenção rodoviária em função das características físicas e geométricas das rodovias, do estado de conservação dos seus pavimentos e da intensidade dos fluxos de veículos.

2- Foram determinados os impactos de cada tipo de veículo nos custos de manutenção rodoviária, sendo possível a expressão dos mesmos em valores monetários, conforme mostra o quadro 6 do Capítulo 9, abaixo transcrito.

3- A metodologia apresentada, propondo a apropriação dos custos envolvidos na manutenção em dois seguimentos, um agrupando os custos que independem do fluxo dos veículos, os chamados custos fixos, e outro, agrupando os custos que decorrem do fluxo de veículos, os custos variáveis, mostrou-se eficaz, uma vez que permitiu a identificação dos grupos de veículos que impõe maior deterioração às vias, vinculando-os aos custos decorrentes, e dessa forma, possibilitando a determinação adequada dos impactos de cada veículo no custo total da manutenção rodoviária.

4- Com os elementos produzidos no presente trabalho é possível, dentro do limites impostos pela abrangência estipulada no Capítulo 1, estimar para diferentes situações de tráfego a que esta submetida uma rodovia com duas faixas de circulação, os custos anuais para sua manutenção.

Quadro 6 - **CUSTO TOTAL DE MANUTENÇÃO DOS VEÍCULOS**

TIPO	TRÁFEGO	CARGA LEGAL		COM EXCESSO	
		Custo/Veículo	Custo/Eixo	Custo/Veículo	Custo/Eixo
Automóveis	mínimo	1,40	0,700	-	-
	médio	**0,45**	**0,225**	-	-
	máximo	0,24	0,120	-	-
Caminhão Leve 2 Eixos **2 C**	mínimo	5,84	2,92	6,11	3,055
	médio	**2,05**	**1,025**	**2,21**	**1,105**
	máximo	1,16	0,580	1,29	0,645
Caminhão Médio 3 Eixos - **3 C**	mínimo	6,03	2,010	6,50	2,167
	médio	**2,16**	**0,720**	**2,45**	**0,817**
	máximo	1,25	0,417	1,47	0,490
Caminhão Pesado 4 Eixos - **2 S 2**	mínimo	6,48	1,620	7,31	1,828
	médio	**2,44**	**0,610**	**2,95**	**0,738**
	máximo	1,45	0,363	1,83	0,458
Caminhão Super-Pesado 5 Eixos - **2 S 3**	mínimo	6,76	1,352	7,40	1,480
	médio	**2,61**	**0,522**	**3,00**	**0,600**
	máximo	1,58	0,316	1,87	0,374

Valores expressos em US¢/km.

4- Os valores, estimados para condição de conservação média do pavimento no início da análise, mostram a preponderância dos custos fixos sobre os variáveis.

5- Enquanto o tráfego total cresce 3 vezes e o fluxo de caminhões sem excesso de carga cresce 7 vezes, o custo total de manutenção aumenta somente 30%.

6- Para o mesmo crescimento do tráfego, mas com caminhões com excesso de carga, o aumento do custo total de manutenção também é reduzido, no entorno de 1,3 vezes.

Quadro 7 - **CUSTOS DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA**

TRÁFEGO TOTAL	VEÍCULOS PESADOS	CARGA LEGAL		COM EXCESSO (17%)	
1.300	328 (26%)	Custo Fixo	9.478	Custo Fixo	9.478
		Custo Variável	782	Custo Variável	1.129
		Custo Total	**10.260**	Custo Total	**10.607**
3.600	1.260 (35%)	Custo Fixo	9.478	Custo Fixo	9.478
		Custo Variável	2.428	Custo Variável	3.144
		Custo Total	**11.906**	Custo Total	**12.622**
5.200	2.756 (53%)	Custo Fixo	9.478	Custo Fixo	9.478
		Custo Variável	3.776	Custo Variável	4.523
		Custo Total	**13.254**	Custo Total	**14.001**

Pavimento com condição inicial de conservação média - IRI_i=4,0.
Custos expressos em US/km/ano.
Tráfego expresso em veic/dia.

7- Os custos fixos de manutenção, só para o pavimento, são sensíveis às condições de conservação do pavimento no início do período de análise.

8- Estimativas, efetuadas a partir das equações do Capítulo 7, mostram a ordem de grandeza dos valores para diferentes situações iniciais de conservação do pavimento, sendo estes de,

- 3.863 US$/km/ano, para pavimento ótimo - $IRI_i = 2,0$
- 5.177 US$/km/ano, para pavimento médio - $IRI_i = 4,0$
- 8.892 US$/km/ano, para pavimento péssimo - $IRI_i = 8,0$

6- As diferenças entre o valor do pavimento ótimo e os valores dos pavimentos médio e péssimo, representam as parcelas necessárias à reabilitação para colocar o pavimento, o acostamento e a sinalização horizontal em condições ótimas.

7- Os custos fixos de manutenção, em circunstâncias de tráfego pesado sem excesso de carga, representam, em média, a 82 % do custo total, enquanto que na situação de tráfego pesado com excesso de carga, equivalem a 76 %.

8- Os custos variáveis de manutenção são menos significativos e correspondem em média, para tráfego pesado sem excesso de carga, a 18 % do custo total, enquanto que para situação de tráfego pesado com excesso de carga, equivalem a 24%.

9- Os caminhões, quando trafegam com até 17% de excesso de peso, produzem um incremento nos custos variáveis de,

- 44 % nas rodovias com volume baixo de tráfego,
- 30 % nas rodovias com volume médio de tráfego,
- 20% nas rodovias com volume alto de tráfego,

produzindo, entretanto, na mesma situação aumentos da ordem de 6 % nos custos totais.

10- Os caminhões, quando trafegam com até 17% de excesso de peso, produzem um incremento médio nos custos totais de manutenção da ordem de 6%.

11- Os valores do impacto, ou também, responsabilidade dos veículos nos custos de manutenção de uma rodovia, variam em função das condições inicias de conservação do pavimento do volume de tráfego e do nível de sobrecarga dos veículos pesados. O quadro 6, transcrito acima, apresenta os valores monetários que representam o impacto de cada veículo para a situação média de conservação das rodovias do Rio Grande do Sul.

12- Os valores do quadro 6 mostram que, nas condições de tráfego médio e veículos pesados sem excesso de carga, o impacto de um,

- caminhão leve 2C é 4,6 vezes maior que de um automóvel,

- caminhão médio 3C é 4,8 vezes maior que de um automóvel,
- caminhão pesado 2S2 é 5,4 vezes maior que de um automóvel,
- caminhão super-pesado 2S3 é 5,8 vezes maior que de um automóvel.

12- As relações anteriores mostram que um caminhão super-pesado, com 5 eixos, sem sobrecarga, impacta apenas 27% a mais do que um caminhão leve com 2 eixos.

13- Para as condições de tráfego médio e veículos pesados com excesso de carga, o impacto de um,

- caminhão leve 2C é 4,9 vezes maior que o de um automóvel,
- caminhão médio 3C é 5,4 vezes maior que o de um automóvel,
- caminhão pesado 2S2 é 6,5 vezes maior que o de um automóvel,
- caminhão super-pesado 2S3 é 6,7 vezes maior que o de um automóvel.

14- As relações anteriores mostram que, em situação de excesso de carga, um caminhão super-pesado com 5 eixos, impacta apenas 37% a mais do que um caminhão leve com 2 eixos.

15- A estrutura tarifária do PECR, calcada em incrementos constantes para cada eixo (0,8 automóveis por cada eixo excedente), favorece os caminhões menores, com 2 e 3 eixos, e penaliza os maiores, com 4 ou mais eixos.

16- Um caminhão com 5 eixos é submetido a uma tarifa 1,5 vezes maior do que a do caminhão com 2 eixos, enquanto que o seu impacto, em média, é somente 1/3 maior.

10.2 RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho permitiu o conhecimento das interligações entre as operações de conservação com seus fatos geradores e suas implicações financeiras. Diversos aspectos tiveram aprofundamento em função das necessidades surgidas no desenvolvimento do trabalho o que, entretanto, não esgota o assunto. Diante disso, a seguir, são apresentadas recomendações que podem auxiliar, ou mesmo, orientar trabalhos futuros.

1- Para maior facilidade e obtenção de resultados mais representativos, é recomendável que os órgãos gestores do sistema rodoviário mantivessem sistemas de informações atualizados e disponíveis à sociedade, especialmente aos técnicos e pesquisadores.

2- Faz-se necessário a homogeneização dos procedimentos de orçamentação das operações de conservação, com definição de grupos de custos, abrangência dos trabalhos, para obtenção de resultados que permitam sua utilização com maior segurança.

3- O HDM III mostrou-se uma ferramenta bastante eficaz no desenvolvimento do presente trabalho. Por possibilitar a geração de inúmeras informações através de simulações é recomendável uma maior divulgação de seus procedimentos, bem como da base de dados que é necessária à sua operação, para que o mesmo possa ter uma maior utilização, tanto por técnicos, como pesquisadores do setor rodoviário.

4- Foram estabelecidos, no presente trabalho, valores monetários que representam o impacto dos veículos na manutenção rodoviária. Sendo a manutenção, somente, um dos grupos que compõem os custos totais do transporte rodoviário, é recomendável que fossem desenvolvidos estudos que se ocupassem dos outros grupos de custos, a fim de possibilitar um melhor ajuste nas relações entre os impactos dos veículos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AASHTO; "Guide for Design of Pavement Structures", American Association of State Highway and Transportation Officials Washington, DC, USA, 1986.
2. AASHTO; "Guide for Design of Pavement Structures", American Association of State Highway and Transportation Officials Washington, DC, USA, 1993.
3. ABCR; "Concessões de Rodovias no Rio Grande do Sul", Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias, ABCR, São Paulo, 1999.
4. ADLER; H., "Avaliação Econômica dos Projetos de Transporte", Livros Técnicos e Científicos Editora SA, Rio de Janeiro, 1978.
5. ALBANO; J.F., "Efeitos da Variação da Carga por Eixo, Pressão de Inflação e Tipo de Pneu na resposta elástica de um pavimento", Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, 1998.
6. ALVS; H., "Excesso de Peso, Danos Irreversíveis no Pavimento", Departamento de Estradas de Rodagem, SP, São Paulo, 1988.
7. ANDRADE; M.H.F.; "Curso de HDM", Departamento Estadual de Estradas de Rodagem, RS, Volume 1, Porto Alegre, 1998.
8. ARANOVICH; A., "Curso de HDM", Departamento Estadual de Estradas de Rodagem, RS, Volume 3, Porto Alegre, 1998.
9. ARCHONDO-CALLAO, R.S. & FAIZ, A.; "Estimating Vehicle Operating Cost", World Bank, Technical Paper Nº 234, Washington, DC, USA, 1993.
10. ARCHONDO-CALLAO; R.S., "EBM-HS Version 1.1: Expenditure Budgeting Model for the Highway Sector", World Bank, Washington, DC, USA, 1995.
11. ARCHONDO-CALLAO; R.S., "HDM Manager Version 3.0: User-friendly Shell for the Highway Desing and Maintenance Standards Model,HDM", World Bank, Washington, DC, USA, 1995.
12. ARCHONDO-CALLAO; R.S., "HDM-PRD, HDM Paved Roads Deterioration Model, Version 1.2", World Bank, Washington, DC, USA, 1996.
13. ARCHONDO-CALLAO; R.S., "Project Evaluation Case Study: Paving a Gravel Road", World Bank, Washington, DC, USA, 1995.
14. ARCHONDO-CALLAO; R.S., "Project Formulation Case Study", World Bank, Washington, DC, USA, 1995.
15. ARCHONDO-CALLAO; R.S., "Roads Economic Decision Model for Economic Evaluation of Low Volume Roads", UNECA and World Bank, Technical Paper Nº 234, Washington, DC, USA, 1999.

16. ASPHALT INSTITUTE; "The Asphalt Handbook", Asphalt Institute, Lexington, USA, 1989.

17. BAPTISTA; C.N.; "Pavimentação", Editora Globo SA, Rio de Janeiro, 1975.

18. BARBOSA; M.A.; "Conservação de Rodovias Pavimentadas", Associação Brasileira de Pavimentação, Boletim Técnico Nº 8, Rio de Janeiro, 1964.

19. BODI, J. & BALBO, J.T.; "Modelos para Priorização de Serviços de Manutenção de Pavimentos Urbanos", 31ª Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo, 1998.

20. BRAGA; I.S., "Gerência e Controle do Patrimônio", Escola Superior de Administração e Negócios, Rio de Janeiro, 1988.

21. BULL; A., "Gestão da Conservação e Operação de Rodovias Através de Contratos por Parâmetros, por Resultados, ou por Níveis de Serviço", Programa IRF/GTZ, 199?.

22. CAMARGO; I., "Noções Básicas de Engenharia Econômica", Gráfica e Editora Itamarati Ltda., Brasília, 1998.

23. CARVALHO; M.P., "Curso de Estradas, Estudos, Projetos e Locação de Ferrovias e Rodovias", Editora Científica, Rio Janeiro, 1966.

24. CASTRO; P. C. G., "Efeitos Deletérios das Cargas de Tráfego nas Vias Urbanas", Secretaria de Obras e Viação, PMPA, Artigo Técnico, Porto Alegre, 1999.

25. CERATTI; J.A.P., "Curso de Extensão: Mecânica dos Pavimentos Rodoviários Flexíveis", Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Caderno Técnico, Porto Alegre, 1997.

26. CONTRAN; "CONTRAN, Resolução Nº 12", Conselho Nacional de Trânsito, Brasília, 1998.

27. COSTA, P.H.S. & ATTIE, E.V.; "Análise de Projetos de Investimentos", Editora Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1990.

28. DELUCCHI; M.A., "The Annualized Social Cost of Motor-Vehicle Use in the U.S." University of California, Berkeley, USA, 1997.

29. DNER; "Custos Rodoviários, Preços Analíticos", Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1986.

30. DNER; "Custos Rodoviários, Preços de Licitação", Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1986.

31. DNER; "Catálogo das Deteriorações dos Pavimentos", Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1978.

32. DNER; "Especificação de Serviço, DNER, ES 128/83", Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1983.

33. DNER; "Manual de Pavimentação", Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1996.

34. DNER; "PECR, Programa Estadual de Concessões Rodoviárias", Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, Porto Alegre, 1997.

35. DNER; "Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos, DNER, PRO 159-85", Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1985.

36. DOMINGOS, P.F. & SANTOS, J.A.; "Apresentação de Trabalhos Científicos: Monografia, TCC, Teses e Dissertações", Editora Futura SA, São Paulo. 2000.

37. DUM; M.; "The Computerized Appraisal Office", Appraisal Institute, Chicago, USA, 1996.

38. ECOPLAN; "STPR, Seleção de Trechos Prioritários para Restauração com Aplicação do HDM-III", Engenharia, Consultoria e Planejamento Ltda, Relatório Técnico, Porto Alegre, 1995.

39. FEKPE; E.S.; "Vehicle Size and Weight Regulations and Highway Infrastructure Management", Battelle Memorial Institute, Columbus, USA, 1995.

40. FERGSON; C.E.; "Microeconomia", Forense Universitária, Rio de janeiro, 1976.

41. FORD; "Conhecimentos Básicos Sobres Caminhões", Instituto Ford de Marketing, São Paulo, 1992.

42. GALMARINI, A.A. et al; "Determinacion de la Justa Copensacion por Uso de Infraestructura Vial de Vehiculos en Transito entre Brasil y Chile por el Itinerario Passo de Los Libres, Tunel Internacional Cristo Redentor", 22ª Reunião Anual de Pavimentação, Anais, Maceió, 1987.

43. GEIPOT; "Research on the Interrelationships Between Costs of Highway Construction, Maintenance and Utilization, PICR", Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, GEIPOT, Final Report, Brasília, 1982.

44. GILLEPIE; T.D., "Everything You Always Wanted to Know About the IRI, But Were Afraid to Ask", Road Profile Users Meeting, Lincoln, USA, 1992.

45. HAIDER; S.W., "Road Users Attitude Towards Axle Load Control, Implications and Suggestions", National Highway Authority, Technical Article, Islamabad, Pakistan 2001.

46. HAU; T., "Economic Fundamentals of Road Pricing", World Bank, Washington, DC, USA, 1996.

47. HEGGIE, I.G. & VICKERS, P.; "Commercial Management and Financing of Roads", World Bank, Technical Paper Nº 409,

48. HEILBRONER, R.L. & THUROW, L.; "Introdução à Microeconomia", Zahar Editores Associados, 4ª Edição, Rio de Janeiro 1983.

49. HOBAN, C. et al; "Economic Analysis of Road Projects with Congested Traffic", World Bank, Washington, DC, USA, 1994.

50. ISOHDMT; "Modeling Road User Effects In HDM-4, RETA 5549-REG Highway Development and Management Research", Asian Development Bank, International Study of Highway Development and Management Tools, ISOHDMT, Final Report, K L, Malaysia, 1995.

51. LAPPONI; J.C., "Estatística Usando o Excel 5 e 7", Lapponi Treinamento e Editora Ltda., São Paulo, 1997.

52. LAPPONI; J.C., "Matemática Financeira Usando o Excel 5 e 7", Lapponi Treinamento e Editora Ltda., São Paulo, 1996.

53. LAPPONI; J.C., "Projetos de Investimentos, Construção e Avaliação do Fluxo de Caixa", Lapponi Treinamento e Editora Ltda., São Paulo. 2000.

54. LASTRAN; "Avaliação do Impacto da Implantação de Concessões nas Rodovias do Rio Grande do Sul", Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Relatório Técnico, Porto Alegre, 1998.

55. LEITE; J.G.M., "Pedágios, Possibilidade de Inovações?", Engenharia e Construções Agosto, Artigo Técnico, São Paulo. 2000.

56. LEVINE, D.M. et al; "Estatística:Teoria e Aplicação Usando Microsoft Excel em Portugueses", Livros Técnicos e Científicos Editora SA, Rio de Janeiro. 2000.

57. LEVINSON, D. & GUILLEN, D.; "The Full Cost of Intercity Highway Transportation", University of Califórnia, Berkeley, USA, 1997.

58. LINS; G.E., "Análise Econômica de Investimentos", Apec Editora SA, São Paulo, 1975.

59. LITMAN; T., "Evaluating Criticism of Transportation Costing", Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada, 1999.

60. LITMAN; T., "Whose Roads?", Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada, 1995.

61. MAC DOWELL; F., "Engenharia de Transportes Rodoviários, Síntese de Metodologia", Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 1976.

62. MAC DOWELL; F., "Manual de Engenharia Econômica, Campo de Aplicação: Transporte Rodoviário", Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, , RS Porto Alegre, 1992.

63. MACTRAN; "HDM III, Highway Design and Maintenance Model", Mactrans, Gainesville, 1995.

64. MACTRANS; "HCM, Highway Capacity Manual", Mactrans, Gainesville, 1997.

65. MADDISON, et al; "Blue Print 5: The True Cost of Road Transport", Earthscan, London, UK, 1996.

66. MAGNUSSON; G., "Methods for the Development of Indices Indicative of Functional Characteristics of Road Surface", Swedish National Road and Transport Research Institute, Sweden, 1999.

67. MARCHETTI; V., "Risco e Decisão em Investimentos Produtivos", Editora da Universidade, UFRGS Porto Alegre, 1995.

68. MARCON; A.F.; "Curso de HDM", Departamento Estadual de Estradas de Rodagem, , RS, Volume 2, Porto Alegre, 1998.

69. MARCON; A.F.; "Tecnologias de Avaliação e Análise do Desempenho de Pavimentos", Departamento de Estradas de Rodagem, DER, SC, Palestra, Florianópolis, 1996.

70. EMPREITEIRO; "O Empreiteiro Nº 369, Rodovias: O Fator Opinião Pública", Editora Univers São Paulo, 1999.

71. PARKIN; M., "Microeconomia", Addilson-Wesley Iberoamericana, Wilmington, USA, 1995.

72. PATERSON; W.D.O.; "Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management", World Bank, Washington, DC, USA, 1987.

73. PEREIRA; A.M.., "Análise Crítica dos Fatores de Equivalência Adotados pelo DNER e sua Adequação às Rodovias de Tráfego Pesado", Associação Brasileira de Pavimentação, Boletim Técnico Nº 11, Curitiba, 1985.

74. PEREIRA; D.R.A.M.; "Contribuição ao Estudo dos Fatores de Equivalência de Cargas", Universidade de São Paulo, USP, Dissertação de Mestrado, São Paulo, 1992.

75. PINI; "TCPO, Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos ", Editora Pini Ltda, São Paulo, 2000.

76. POLHILL, D. & MUELLER, S.; "Colorado in Balance, Transportation and Infrastructure", Independence Institute, Denver - USA, 1997.

77. PUCCINI, A.L. et al; "Engenharia Econômica", Fórum Editora Ltda., Rio de Janeiro, 1974.

78. SANTANA; H., " Manual de Pré-Misturados a Frio", Instituto Brasileiro De Petróleo, 1ª Edição, Rio de Janeiro, 1993.

79. SCHLIESSLE,R A. et al; "Caminos, Un Nuevo Enfoque Para la Gestion de Redes Viales", Comision Economica Para America Latina y Caribe- Nciones Unidas, Santiago, Chile, 1994.

80. SECURATO; J.R., " Decisões Financeiras em Condições de Risco", Editora Atlas SA, São Paulo, 1996.

81. SEMMENS, J. & CALHOUN, M.; ., "An Investiment Analysis of the Kansas Highway System", Kansas Public Policy Institute, Topka, USA, 1999.

82. SENCO; "Manual de Técnicas de Pavimentação", Editora Pini Ltda, São Paulo, 19??.

83. SEVERO; C., "As Tarifas de Pedágio nas Rodovias do Programa Estadual de Concessão de Rodovias- PECR do Estado do Rio Grande do Sul", Porto Alegre, 1999.

84. SILVA; P.A.L., " Princípios DPS Métodos Estatísticos: Conceitos, Modelos e Aplicações no Excel", Editor Universitária Santa Úrsula, Rio de Janeiro, 1998.

85. SILVER; M., "Estatística para Administração", Editora Atlas SA, São Paulo. 2000.

86. SOUZA; A. C., "Custos de Conservação para Gerência de Pavimentos de Concreto Asfáltico", 22ª Reunião Anual de Pavimentação, Maceió, 1987.

87. SOUZA; M.L.; "Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis", Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER, 1966.

88. SOUZA; M.L.; "Pavimentação Rodoviária", Livros Técnicos Científicos Editora SA, Rio de Janeiro, 1980.

89. TIZZOT; R.W., " Fundersul: Financiamiento Inteligente para as Rodovias", V Encuentro Nacional de Conservação Rodoviária, Salvador. 2000.

90. UFRGS; "Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis, DNER, PRO 10-79", Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER, Rio de Janeiro, 1979.

91. USDOT; "FHWA, Federal Highway Cost Allocation Study", United State Departament of Transportation, USDOT, Washington, DC, USA, 1997.

92. USDOT; "FHWA, Truck Pavement Interaction, TPI", United State Department of Transportation, USDOT, Washington, DC, USA. 2000.