

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ CARLOS LOBATO MESQUITA

**PAVIMENTO RÍGIDO COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA  
PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA  
*ESTUDO DE CASO* - RODOVIA BR-262, MIRANDA - MORRO DO  
AZEITE - MS**

Florianópolis  
2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ CARLOS LOBATO MESQUITA

**PAVIMENTO RÍGIDO COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA  
PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA  
*ESTUDO DE CASO - RODOVIA BR-262, MIRANDA - MORRO DO  
AZEITE - MS***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

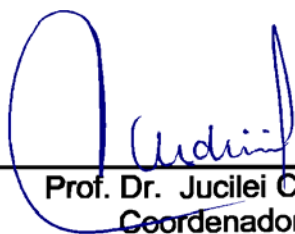
Orientador: Prof. Antônio Edésio Jungles, Dr.

Florianópolis  
2001

JOSÉ CARLOS LOBATO MESQUITA

**PAVIMENTO RÍGIDO COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA  
PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA  
ESTUDO DE CASO - RODOVIA BR-262, MIRANDA - MORRO DO  
AZEITE - MS**

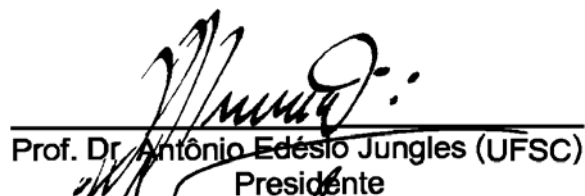
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.



---

Prof. Dr. Jucilei Cordini  
Coordenador

Comissão Examinadora:



---

Prof. Dr. Antônio Edésio Jungles (UFSC)  
Presidente



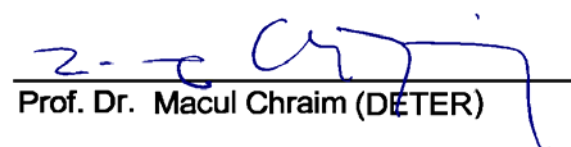
---

Prof. Dr. Amir Mattar Valente (UFSC)



---

Prof. Dr. Nobeito Hochheim (UFSC)



---

Prof. Dr. Macul Chraim (DETER)

MESQUITA, José Carlos Lobato.  
PAVIMENTO RÍGIDO COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA  
PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA. Florianópolis, UFSC, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2001.  
XV, 135 p.  
Dissertação: Mestrado em Engenharia Civil (Construção Civil)  
1. Pavimento Rígido 2. Pavimento Flexível 3. Cimento Portland 4. Asfalto  
5. Ciclo de Vida 6. Custo Operacional 7. Custo 8. Benefício 9. Investimento  
I. Universidade Federal de Santa Catarina  
II. Título

**Aos meus pais, Guy de Mesquita (*in memoriam*) e Lucy, pelo exemplo e dedicação.**

**À minha esposa, Maria Emília, e minhas filhas, Daniela e Lívia, pelo incentivo e compreensão.**

## AGRADECIMENTOS

Ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Jucilei Cordini, Dr., pela concretização do Curso.

Ao Coordenador do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Humberto Ramos Roman, PhD, pela determinação na condução dos trabalhos.

Ao meu Orientador, Antônio Edésio Jungles, Dr., pelo incentivo e dedicação que sempre me dispensou.

Aos Professores do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Antônio Edésio Jungles, Dr., Humberto Ramos Roman, PhD., Idone Bringhenti, Dr., Ivo José Padaratz, Ph.D., Janaíde Cavalcante Rocha, Dr., Luiz Fernando M. Heineck, PhD., Luiz Roberto Prudêncio Jr., Dr., Roberto Lamberts, PhD., Philippe Gleize, Dr. Ing., pela dedicação à nobre e árdua missão de ensinar.

Aos Componentes da Banca Examinadora, Amir Mattar Valente, Dr., Norberto Hochheim, Dr., Macul Chraim, Dr., pela contribuição à conclusão deste trabalho.

Aos Engenheiros do Departamento de Projetos do Dersul, Marco Antônio de A. Maymone e Paulo Tiyo Jikimura, pela colaboração.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade da realização deste trabalho.

À minha família, pelo permanente apoio e incentivo.

A todos aqueles que, de uma ou outra maneira, contribuíram para que este trabalho se torne uma realidade.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO</b>	<b>xiv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. HISTÓRICO	1
1.2. JUSTIFICATIVA	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. OBJETIVO GERAL	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. HIPÓTESES	3
1.4.1. HIPÓTESE GERAL	3
1.4.2. HIPÓTESES ESPECÍFICAS	3
1.5. METODOLOGIA	3
1.6. LIMITAÇÕES	5
1.7. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	5
<b>2. PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS</b>	<b>7</b>
2.1. REVISÃO DA LITERATURA	7
2.2. CUSTO DO CICLO DE VIDA	20
2.3. PAVIMENTOS	21
2.3.1. CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS	21
2.3.2. VANTAGENS DO PAVIMENTO DE CIMENTO PORTLAND	24
2.3.3. CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE	25
2.4. MATERIAIS	29
2.4.1. ASFALTO	29
2.4.1.1. INTRODUÇÃO	29
2.4.1.2. MATÉRIA PRIMA	32
2.4.2. CIMENTO PORTLAND	32
2.4.2.1. INTRODUÇÃO.	32
2.4.2.2. MATÉRIA PRIMA	35
<b>3. ESTUDO DE CASO</b>	<b>37</b>
3.1. AVALIAÇÃO SOCIAL DE PROJETOS	37
3.1.1. ANÁLISE DE INVESTIMENTO SOB A ÓTICA “SOCIAL”	38
3.1.2. CUSTO OPERACIONAL DOS VEÍCULOS.	39
3.1.3. CUSTOS DE CONSERVAÇÃO DA RODOVIA.	40
3.1.4. MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	41
3.2. PROJETO DA RODOVIA BR/262	44
3.2.1. DIRETRIZ DO PROJETO	44
3.2.2. ESTUDOS DE TRÁFEGO	46



3.2.2.1. TRÁFEGO DA ÉPOCA	47
3.2.2.2. EVOLUÇÃO DO TRÁFEGO	47
3.2.3. CAPACIDADE DA RODOVIA	48
3.2.4. ESTUDOS GEOLÓGICOS	49
3.2.5. ESTUDOS HIDROLÓGICOS	51
3.2.6. ESTUDOS GEOTÉCNICOS	57
3.3. PROJETOS	59
3.3.1. PROJETO GEOMÉTRICO	59
3.3.2. PROJETO DE TERRAPLENAGEM	60
3.3.3. PROJETO DE DRENAGEM	60
3.3.4. PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO	61
3.3.4.1. VOLUME MÉDIO DIÁRIO	62
3.3.4.2. FATOR DE VEÍCULO (FV)	62
3.3.4.2.1. FATOR DE EQUIVALÊNCIA(FE)	62
3.3.4.2.2. FATOR DE CARGA (FC)	63
3.3.4.3. FATOR CLIMÁTICO REGIONAL (FR)	64
3.3.4.4. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	65
3.4. ESTUDO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS	70
3.4.1. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RÍGIDO	70
3.4.1.1. PARÂMETROS DE CÁLCULO	71
3.4.1.2. CÁLCULO DA ESPESSURA DA PLACA	82
3.4.2. CUSTO OPERACIONAL DE VEÍCULOS	84
3.4.2.1. INTRODUÇÃO	84
3.4.2.2. VEÍCULO DE REFERÊNCIA	85
3.4.2.3. PREVISÃO DE CUSTO OPERACIONAL: BRASIL	85
3.4.2.4. EQUAÇÕES DE (COV) x (IRI)	88
3.4.2.5. EVOLUÇÃO DA IRREGULARIDADE	91
3.4.2.6. EVOLUÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS	97
3.4.3. CUSTOS ECONÔMICOS	100
3.4.3.1. CUSTOS DE CONSTRUÇÃO	100
3.4.3.2. CUSTOS DE CONSERVAÇÃO	104
3.4.3.2.1. PAVIMENTO ASFÁLTICO	104
3.4.3.2.2. PAVIMENTO DE CIMENTO PORTLAND	108
3.4.4. ANÁLISE DE CUSTO E BENEFÍCIO	109
3.4.4.1. ATUALIZAÇÃO DE VALORES (FVP)	109
3.4.4.2. ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA.	113
3.4.4.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	116
3.4.4.3.1. INTRODUÇÃO	116
3.4.4.3.2. MÉTODO PRÁTICO DE APLICAÇÃO	118
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>120</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>125</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>128</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b>	Distribuição de tensões: Pavimento Rígido	7
<b>FIGURA 2</b>	Distribuição de tensões: Pavimento Flexível	8
<b>FIGURA 3</b>	Ultra Thin Whitetopping	8
<b>FIGURA 4</b>	Evolução do preço médio mensal do petróleo	12
<b>FIGURA 5</b>	Participação do setor público na economia	13
<b>FIGURA 6</b>	Dívida Líquida do setor público	13
<b>FIGURA 7</b>	Pesquisa Rodoviária CNT - 97	14
<b>FIGURA 8</b>	Estado de conservação da malha rodoviária pavimentada federal	14
<b>FIGURA 9</b>	Superfície da pista de rolamento	26
<b>FIGURA 10</b>	Perfil da superfície de rolamento	26
<b>FIGURA 11</b>	Quarto de Carro	27
<b>FIGURA 12</b>	Instrumentos de medição de IRI: BPR Roughometer	28
<b>FIGURA 13</b>	Instrumentos de medição de IRI: Mays meter	28
<b>FIGURA 14</b>	Faixas de velocidade de uso em função do IRI.	29
<b>FIGURA 15</b>	Mapa de Situação.	44
<b>FIGURA 16</b>	Mapa de Situação: Detalhe	45
<b>FIGURA 17</b>	Fator de equivalência de operações.	64
<b>FIGURA 18</b>	Operações de eixo de 18.000 lbs (8,2 t).	66
<b>FIGURA 19</b>	Seção Tipo de Pavimentação.	69
<b>FIGURA 20</b>	Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com ou sem acostamento de concreto)	80
<b>FIGURA 21</b>	Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de concreto)	81
<b>FIGURA 22</b>	Influência da Rugosidade sobre o Custo Operacional dos Veículos.	84
<b>FIGURA 23</b>	Vehicle Operating Cost/HDM	88
<b>FIGURA 24</b>	Previsão de Custo Operacional de Veículos: Brasil.	91
<b>FIGURA 25</b>	Relação aproximada entre AASHO Serviceability Index (PSI) e as escalas de Rugosidade $QI_m$ e IRI.	93
<b>FIGURA 26</b>	Deterioração das estradas com o decorrer do tempo.	105
<b>FIGURA 27</b>	Deterioração da rodovia (BR-262/Miranda – Morro do Azeite) no decorrer do período estudado.	106

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b>	Tipos de cimento Portland produzidos comercialmente no Brasil	36
<b>TABELA 2</b>	Projeto Final de Engenharia BR/262 (Estudo de Caso)	46
<b>TABELA 3</b>	Características Técnicas	46
<b>TABELA 4</b>	Característica Operacional	47
<b>TABELA 5</b>	TMD Por categoria de Serviço (1983 a 1995)	48
<b>TABELA 6</b>	Classificação dos solos	58
<b>TABELA 7</b>	Seções Transversais Tipo	59
<b>TABELA 8</b>	Volume Médio Diário - Vm	62
<b>TABELA 9</b>	TMD Por categoria de Serviço (1985 a 1995)	63
<b>TABELA 10</b>	Fator de Carga - FC	63
<b>TABELA 11</b>	Fator Climático Regional FR	64
<b>TABELA 12</b>	Coeficientes de equivalência estrutural	67
<b>TABELA 13</b>	Camadas do Pavimento	68
<b>TABELA 14</b>	Seções Transversais Tipo	69
<b>TABELA 28</b>	Coeficientes de resistência da camada para número estrutural	95
<b>TABELA 15</b>	Espessura do pavimento	69
<b>TABELA 16</b>	Tipos de Eixos e Cargas	72
<b>TABELA 17</b>	TMD Unidirecional de Veículos Comerciais: Tipo.	72
<b>TABELA 18</b>	TMD Unidirecional de Veículos Comerciais: Tipo e Carga.	73
<b>TABELA 19</b>	Aumento de K devido à presença de sub-base granular	75
<b>TABELA 20</b>	Tensão Equivalente para Eixos Simples (ES) e Tandem Duplos (ETD)	76
<b>TABELA 21</b>	Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (ETT)	77
<b>TABELA 22</b>	Fator de Erosão para Eixos Simples (ES) e Tandem Duplos (ETD)	78
<b>TABELA 24</b>	Tensão Equivalente, Fator de Fadiga e de Erosão por tipo de eixo	82
<b>TABELA 23</b>	Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos (ETT)	79
<b>TABELA 25</b>	Dimensionamento de Pavimento Rígido – Método PCA/84	83
<b>TABELA 26</b>	Previsão de Custo Operacional de Veículos: Brasil	87
<b>TABELA 27</b>	International Roughness Index (IRI)	92
<b>TABELA 29</b>	Número Estrutural Modificado do Pavimento	94
<b>TABELA 30</b>	Evolução do TMD, N e IRI: Pavimento Flexível Proposto(CBUQ)	96
<b>TABELA 31</b>	Custo Operacional: Pavimento Flexível Proposto(CBUQ)	98

<b>TABELA 32</b>	Custo Operacional: Pavimento Rígido Proposto(CCP/WT)	99
<b>TABELA 33</b>	Custo Unitário de Serviços(CCP/WT): Espessura 17cm	101
<b>TABELA 34</b>	Custo Unitário de Serviços(CBUQ): Espessura 6cm	103
<b>TABELA 35</b>	Custo Unitário Total de Serviços(CBUQ): 1° Camada (Inicial)	104
<b>TABELA 36</b>	Custo Unitário de Serviços(CBUQ): Espessura 3cm	107
<b>TABELA 37</b>	Custo Unitário Total de Serviços(CBUQ): 2°, 3° e 4° Camadas (Etapa)	108
<b>TABELA 38</b>	Resumo dos Custos de Construção	109
<b>TABELA 39</b>	Análise Econômica: Pavimento Flexível Proposto(CBUQ)/Km	111
<b>TABELA 40</b>	Análise Econômica: Pavimento Rígido Proposto(CCP/WT)/Km	112
<b>TABELA 41</b>	Análise Econômica Comparativa: Pavimento Flexível (CBUQ)	114
<b>TABELA 42</b>	Análise Econômica Comparativa: Pavimento Rígido (CCP/WT)	115
<b>TABELA 43</b>	Análise Econômica Comparativa: Resumo (CCP/WT)	115
<b>TABELA 44</b>	Análise de Sensibilidade: Síntese	119
<b>TABELA 45</b>	Análise de Sensibilidade: Dispersão	119
<b>TABELA 46</b>	Plano de Aplicação de Recursos	121

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1</b>	Relatório de resultados da análise de sensibilidade por simulação para a alternativa: Pavimento Flexível (CBUQ)	129
<b>ANEXO 2</b>	Relatório de resultados da análise de sensibilidade por simulação para a alternativa: Pavimento Rígido(CCP/WT)	131
<b>ANEXO 3</b>	Relatório de resultados da análise de sensibilidade por simulação para a alternativa: LÍQUIDO (Reduções)	133
<b>ANEXO 4</b>	Fluxos de caixa utilizados para a análise de sensibilidade	135

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a elaboração de uma *análise econômica comparativa de custos*, entre a alternativa de Pavimento Rígido (pavimento de *Concreto de Cimento Portland* ), e de Pavimento Flexível (pavimento de *Concreto de Cimento Asfáltico*), com a finalidade analisar a viabilidade econômica, para a revitalização e preservação das condições da superfície de rolamento, de um pavimento rodoviário, por um período de 20 anos, enfocando o conceito de *análise do ciclo de vida útil* destes pavimentos.

O estudo teve como fonte para coleta de dados experimentais, o Projeto Final de Engenharia, da rodovia BR-262, trecho Miranda-Morro do Azeite - MS.

Foram analisados, para cada alternativa, os *custos de construção e conservação*, bem como a evolução dos *custos operacionais*, decorrentes da degradação das condições superficiais, que cada pavimento apresenta ao longo do período.

Como conclusão desta pesquisa, a partir das análises econômicas efetuadas, os resultados indicaram que a alternativa de utilização do Pavimento Rígido, mostrou-se economicamente mais vantajosa, pela sua melhor relação entre *custos e benefícios*.

Palavras Chave: Pavimento Rígido; Pavimento Flexível; Análise do Ciclo de Vida; Custo Operacional.

## ABSTRACT

The main objective of this essay is to elaborate an *economical analysis*, comparing the costs between the Rigid Pavement alternative (*Concrete Pavement of Portland Cement*) and the Flexible Pavement (Concrete Pavement of Asphaltic Cement), aiming the analysis of their economical feasibility, in order to revitalize and preserve the rolling surface conditions of road pavements, through a period of 20 years, focusing on the concept of the *life cycle analysis* of these pavements.

The resources for this study were taken from the Final Engineering Project, of road BR-262, stretch Miranda – Morro do Azeite – MS.

For each alternative, the costs of construction and preservation were analyzed, as well as the evolution of the operational costs, which come from the degradation of the surface conditions that each pavement presents along the period.

As a conclusion to this research, from the economical analysis done, the results indicate that the Rigid Pavement alternative showed more advantages than the Flexible Pavement, because of its better cost – benefit relationship.

Key words: Rigid Pavement; Flexible Pavement; Life-Cycle analysis; Operational costs.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. HISTÓRICO

A utilização do pavimento rígido como alternativa para a pavimentação de estradas, não é uma solução nova, os primeiros pavimentos de concreto de que se tem notícia datam de mais de um século, no ano 1865 em Invernes, Escócia <sup>(28)</sup>, e depois dessa época tem sido utilizado com sucesso em todo o mundo.

Os pavimentos de concreto tem sido amplamente utilizados nas estradas de primeira categoria e em vias urbanas de alto tráfego de muitos países. No Japão, Alemanha, Itália, Inglaterra e Bélgica, aproximadamente 50% das estradas são de concreto.

Nos Estados Unidos a percentagem é de cerca de 26% <sup>(28)</sup>. O primeiro pavimento de concreto construído no EUA foi na Av. Main, Bellafontaine, Ohio, em 1893, portanto com 107 anos de uso sem maiores danos e sem necessidade de reconstrução alguma <sup>(27)</sup>.

Na América Latina as primeiras experiências datam dos fins das décadas de 1920-30 na Argentina e no México; nesses países, notícias dão conta que estradas de concreto tem subsistido por mais de 60 anos sem nenhuma reabilitação importante <sup>(27)</sup>.

No Brasil a rodovia estadual Anchieta (SP-150) faz a ligação entre a região metropolitana de São Paulo e a Baixada Santista, passando pelos municípios de São Paulo, São Bernardo, Cubatão e Santos, ao longo de 55,9 km de extensão. Foi uma das primeiras rodovias a serem construídas no Brasil, segundo padrões técnicos modernos e rigorosos para a época, tais como faixa de domínio de 20m, pista de 6m, pavimento de concreto; a primeira parte da



rodovia, atual pista ascendente, foi entregue ao tráfego em 13 de março de 1947, e em 9 de julho de 1953, foi inaugurada a sua segunda pista <sup>(26)</sup>.

No Brasil, como de modo geral na América Latina, a construção de pavimentos de concreto, não teve um desenvolvimento harmônico; do entusiasmo inicial dos anos 1920-1950, se seguiu um estancamento relativo em 1960-1990, devido à competência agressiva dos pavimentos asfálticos.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

Nos últimos anos, se manifesta uma inversão nessa tendência, motivada por um aumento relativo do custo do asfalto e a crescente intervenção da iniciativa privada na rede rodoviária, através das concessões, que passam a considerar mais o custo total (ao longo de toda a vida útil do pavimento).

Hoje no Brasil um exemplo relevante de rodovia em pavimento rígido em construção, e considerada como uma das rodovias mais modernas e bem construídas do País, o RODOANEL da cidade de São Paulo será uma via expressa com 161 quilômetros de extensão e duas pistas de 3 a 4 faixas de rolamento por sentido a uma distância variável de 20 a 40 quilômetros do Centro de São Paulo.

Sua construção será dividida em quatro trechos: Oeste, Norte, Sul e Leste. O custo total da obra está orçado em cerca de R\$ 3 bilhões, que deverá ser dividido entre os governos Federal, Estadual e participação da iniciativa privada <sup>(26)</sup>.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GERAL**

O Objetivo deste trabalho é de analisar a viabilidade econômica de alternativas para a revitalização e conservação das condições da superfície de rolamento

da rodovia BR/262 (Trecho: Miranda – Morro do Azeite/MS), por um período de 20 anos.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Analisar economicamente, a relação, custos e benefícios, para os usuários, bem como para sociedade com um todo, decorrentes das alternativas de recapeamento da atual superfície de rolamento dessa rodovia, considerando as tecnologias de:

- Pavimento Flexível (Pavimento de Cimento Asfáltico), e;
- Pavimento Rígido (Pavimento de Cimento Portland).

## **1.4. HIPÓTESES**

### **1.4.1. HIPÓTESE GERAL**

O Pavimento Rígido (Pavimento de Cimento Portland), deve ser economicamente a melhor alternativa, levando-se em conta, principalmente, a sua grande capacidade de manter as condições da superfície de rolamento durante longos períodos.

### **1.4.2. HIPÓTESES ESPECÍFICAS**

O principal fator restritivo à utilização do Pavimento Rígido, se deve mais ao *custo inicial* de construção, do que a uma análise de custos de longo prazo.

Com base na *análise do ciclo de vida útil* desses pavimentos, o Pavimento Rígido (Pavimento de Cimento Portland), deve, economicamente, apresentar melhor performance.

## **1.5. METODOLOGIA**

Esta pesquisa desenvolve-se através da revisão da literatura, análise dos dados e estabelecimento de um método de análise de informações, para subsidiar estudos de viabilidade econômica de projetos rodoviários.

A revisão da literatura desenvolvida, abrange os aspectos gerais que envolvem a utilização do *Pavimento Rígido*, como alternativa para a construção de rodovias. Esta revisão foi a fundamentação teórica para a análise dos dados, e estabelecimento dos métodos e conclusões.

A análise dos dados foi desenvolvida seguindo basicamente os seguintes procedimentos:

- a) para a coleta de dados experimentais, foi adotado para efeito *de estudo de caso*, um trecho piloto, da rodovia BR-262, que liga os municípios de Miranda e Corumbá/MS, que atravessa no sentido leste-oeste o pantanal sul-matogrossense, para o qual procedeu-se a análise do projeto executivo de engenharia da rodovia, onde foram anotados e transcritos os dados que se revelaram mais importantes para o estudo comparativo em questão;
- b) para o levantamento dos *custos de construção do Pavimento de Cimento Portland*, foi realizado o dimensionamento do mesmo, considerando o fluxo de tráfego existente, resultando na necessidade de execução de uma capa do tipo Whitetopping, com espessura de 17cm, com vida útil projetada em 20 anos;
- c) para o levantamento dos *custos de construção (reabilitação)* das características superficiais do *Pavimento de Cimento Asfáltico*, para o mesmo período de 20 anos, foi prevista, a execução de um *recapeamento* inicial do tipo CBUQ, com 6cm de espessura, e mais três *recapeamentos* do mesmo tipo, com espessura de 3cm cada um, em intervalos de 6 anos cada;

- d) para o levantamento dos *custos de conservação* das características superficiais do *Pavimento de Cimento Asfáltico*, foi previsto, um custo médio, anual, sugerido pelo Banco Mundial;
- e) para determinação da *evolução dos custos operacionais* ao longo dos 20 anos de período do projeto, foi estabelecida uma *equação de variação* desses custos em função da variação das *Irregularidades* da superfície do pavimento;
- f) para a apuração da *melhor alternativa econômica*, foram elaboradas, para cada uma das alternativas, planilhas de análise econômica, envolvendo a evolução de *custos e benefícios*, ao longo do período estudado, que foram posteriormente comparadas em termos de *Taxa Interna de Retorno* e relação *Custo e Benefício*.

## 1.6. LIMITAÇÕES

A revisão da literatura fica limitada aos poucos estudos desenvolvidos no País, tendo em vista o longo período em que houve a predominância absoluta do pavimento asfáltico no Brasil. Para tanto, sugere-se a criação de um banco de dados dos empreendimentos rodoviários, de construção em *pavimento rígido*, para subsidiar estudos futuros.

## 1.7. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

O presente capítulo apresenta o histórico e justificativa da análise do pavimento rígido, como alternativa econômica para pavimentação rodoviária, os objetivos e hipóteses desta pesquisa, assim como a síntese do método de pesquisa e as limitações.

No Capítulo, são ainda apresentados, os principais aspectos teóricos que compõe atualmente, o contexto da pavimentação rodoviária no Brasil,

abordando fatores econômicos, técnicos, conjunturais, etc., direta ou indiretamente envolvidos.

No Capítulo 2 (PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS), descreve os conceitos da metodologia conhecida como *Análise de Custo do Ciclo de Vida*, um elenco de *itens de comparativos* entre os tipos de pavimentos envolvidos, os *materiais* utilizados como *aglutinantes* e os aspectos da *caracterização das condições físicas da superfície* da pista de rolamento.

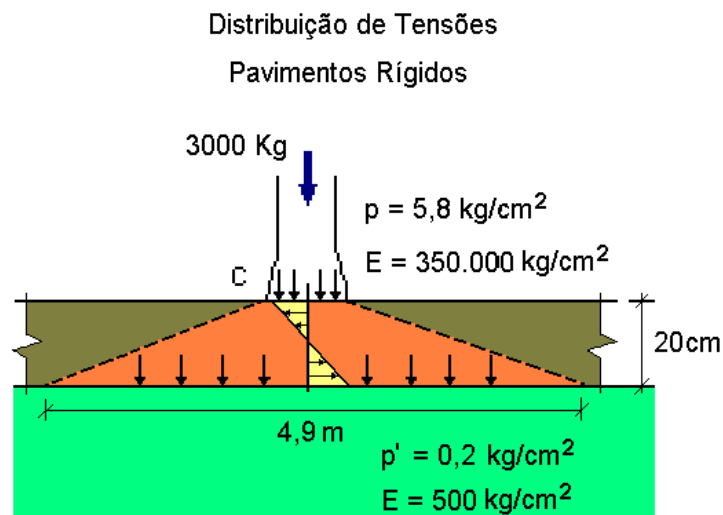
O Capítulo 3 (ESTUDO DE CASO), aborda a questão da avaliação de projetos, considerando a *Ótica Social*, a coleta dos dados experimentais, utilizando como *estudo de caso*, o *projeto executivo de engenharia* da rodovia, BR/262 (Trecho: Miranda – Morro do Azeite/MS), e por último, considerados, os *Custos e Benefícios* decorrentes, um *estudo econômico comparativo* entre as alternativas propostas.

Finalmente (em CONCLUSÕES), são apresentadas as conclusões das análises econômicas e dos estudos realizados, assim como a citação da possível aplicabilidade deste trabalho, como fonte de subsídios, para análise do projeto de revitalização da rodovia, BR/262 (Trecho: Miranda – Morro do Azeite/MS), que em breve, certamente, estará sendo posta em prática pelo Governo do Estado de Mato Grosso do Sul.

## 2. PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS

### 2.1. REVISÃO DA LITERATURA

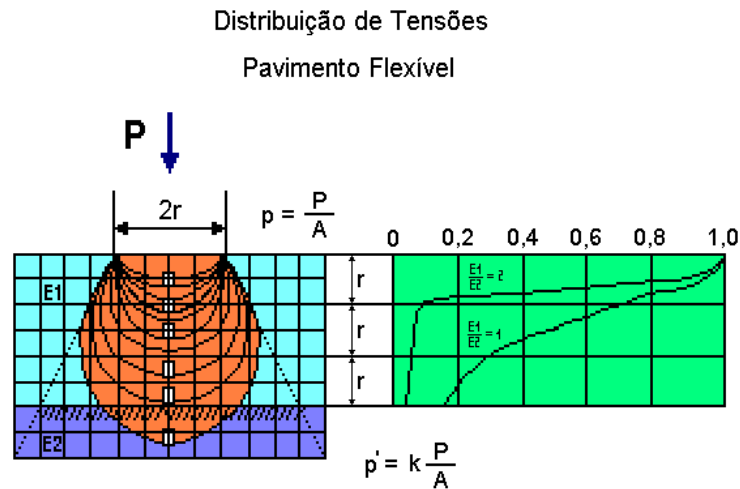
O pavimento rígido (ver Figura 1), em sua definição clássica, está constituído por uma *placa de concreto* de cimento Portland, que é, ao mesmo tempo, camada estrutural e superfície de rodagem e que tem, por sua vez, uma considerável rigidez à flexão.



**FIGURA 1 – Placa de Concreto<sup>(27)</sup>**

Resistindo portanto, significativamente à flexão, esta rigidez é fator importante no dimensionamento da placa de concreto, tendo em vista uma distribuição de tensões mais uniformemente distribuída e portanto mais superficial, que lhe confere um melhor desempenho sobre bases frágeis, ao contrário do que acontece com o pavimento asfáltico, onde as camadas inferiores é que exercem a função estrutural.

No pavimento flexível (ver Figura 2), cujas *camadas estruturais* e de revestimento tem pouca resistência aos esforços de flexão, a distribuição das tensões é mais concentrada e portanto mais profunda, podendo atingir o subleito, causando ondulações permanentes ao pavimento.



**FIGURA 2 - Camadas Estruturais<sup>(27)</sup>**

Além das tecnologias citadas, existe também uma tecnologia de pavimento de concreto de cimento Portland denominada *Whitetopping*, que tem sido muito utilizada como alternativa bastante favorável para a reabilitação de pavimentos de asfalto.

Consiste na colocação de uma sobre-capa de Concreto de Cimento Portland sobre o revestimento de Concreto de Cimento Asfáltico (ver Figura 3). O primeiro *Whitetopping* foi executado em uma rua da cidade de Terre Haute, Indiana, EUA em 1918. A primeira rodovia foi colocada em operação em 1960<sup>(30)</sup>.



**FIGURA 3 – Ultra Thin Whitetopping<sup>(28)</sup>**

Desde então, esta técnica vem sendo aperfeiçoada e utilizada com êxito em vias urbanas, rodovias e principais aeroportos dos Estados Unidos e da

Europa, substituindo para sempre o uso de pavimentos asfálticos, principalmente em rodovias de alto tráfego.

Esta tecnologia tem evoluído também para o chamado *Ultra-Thin Whitetopping* (Ultra-Delgado Whitetopping), que permite a utilização de uma espessura muito pequena, portanto de custo significativamente menor.

A tecnologia *Whitetopping* pode ter um grande impacto social e econômico entre seus usuários, já que dentro dos custos que se devem tomar em consideração para a seleção de uma alternativa na construção/reabilitação de uma rodovia, estão os seguintes itens:

- a) Custo de construção, geometria da rodovia, tipo do pavimento e drenagens.
- b) Custo por deterioração e conservação (por tipo e por rugosidade).
- c) Custo do usuário (Custo de operação dos veículos, consumo de combustíveis, tempo de viagem e acidentes).

A tecnologia *Whitetopping* apresenta as seguintes características:

- Permite a colocação sobre capas asfálticas que exibam qualquer condição de deterioração superficial.
- Requer mínima preparação de bases existentes, apenas a eliminação das poeiras mediante lavagem com água e varrição para melhorar a aderência entre o concreto e a capa asfáltica existente.
- Custo competitivo em relação a reabilitação com asfalto considerando-se seu ciclo de vida.
- A vida útil do pavimento se incrementa entre 10 e 15 anos, diminuindo drasticamente os custos de manutenção.
- Incrementa consideravelmente os efeitos de luminosidade da via, reduzindo portanto os gastos de iluminação noturna.



Os principais materiais empregados em pavimentos de concreto de cimento Portland, incluindo o *Whitetopping*, são o cimento Portland, agregados graúdos, agregados miúdos, água, aditivos e materiais selantes de junta.

Para a execução dos pavimentos de concreto e *Whitetopping* não são feitas exigências especiais quanto ao tipo, marca e índices físicos e químicos do Cimento Portland. A escolha do tipo ou marca do cimento mais conveniente, quando esta escolha for possível, poderá trazer maior economia para a obra, além de maior qualidade e durabilidade pela redução da probabilidade de fissuração <sup>(2)</sup>.

O cimento, diferentemente das rochas, cujas características são determinadas por processos naturais, tem suas características, dentro de limites bastante variáveis, originadas por formulações do produtor <sup>(2)</sup>.

Certas características específicas dos cimentos conferem às argamassas e concretos variações de desempenho, que podem vir a ser técnica e economicamente significativas <sup>(2)</sup>.

Por essa razão, as entidades normativas especificam tipos de cimentos baseados nessas características, que devem ser escolhidos criteriosamente em função do tipo de obra a ser executada <sup>(2)</sup>.

Os fabricantes de cimento produzem, então, de acordo com a localização de cada fábrica e a facilidade de obter os insumos, os tipos de cimento que tenham demanda e represente vantagens econômicas <sup>(2)</sup>.

Portanto, o primeiro critério para seleção dos fornecedores de cimento diz respeito à disponibilidade do tipo adequado a uma determinada obra. Esse tipo adequado será relacionado às características do meio ambiente, dos outros constituintes do concreto e do sistema construtivo previsto <sup>(2)</sup>.

Em análise a atual estrutura física da malha rodoviária pavimentada brasileira, constata-se o predomínio absoluto pela pavimentação asfáltica (pavimento

flexível), fruto principalmente da premissa de que pavimentos de preços iniciais menores seriam os mais viáveis, contando-se evidentemente que os recursos necessários para sua manutenção estariam sempre disponíveis ao tempo e aos valores necessários, e ainda que os preços do seu componente mais nobre, o asfalto, se manteriam estáveis.

Premissas essas que acabaram não se confirmando, devido principalmente às sucessivas crises econômicas e elevadas taxas de inflação, que tornaram os recursos públicos para investimentos em infra-estrutura cada vez mais escassos.

Aliado a isso, diversos fatores externos ligados aos principais países produtores de petróleo, como a criação da OPEP (Organização dos Países Produtores de Petróleo) em 1960, que posteriormente veio a estabelecer cotas reprimidas para a produção de petróleo de seus países membros, acabaram elevando substancialmente o preço do petróleo face à demanda.

Considere-se, ainda, os sucessivos conflitos no Oriente Médio, como a questão político/religiosa no Irã em 1978, a prolongada guerra por questões territoriais entre Irã e Iraque em 1980, a Guerra do Golfo em 1990, fatos esses, que associados à insuficiente produção interna de petróleo, acabaram elevando os preços do petróleo a níveis nunca imaginados: a chamada Crise do Petróleo das décadas de 1970-1980.

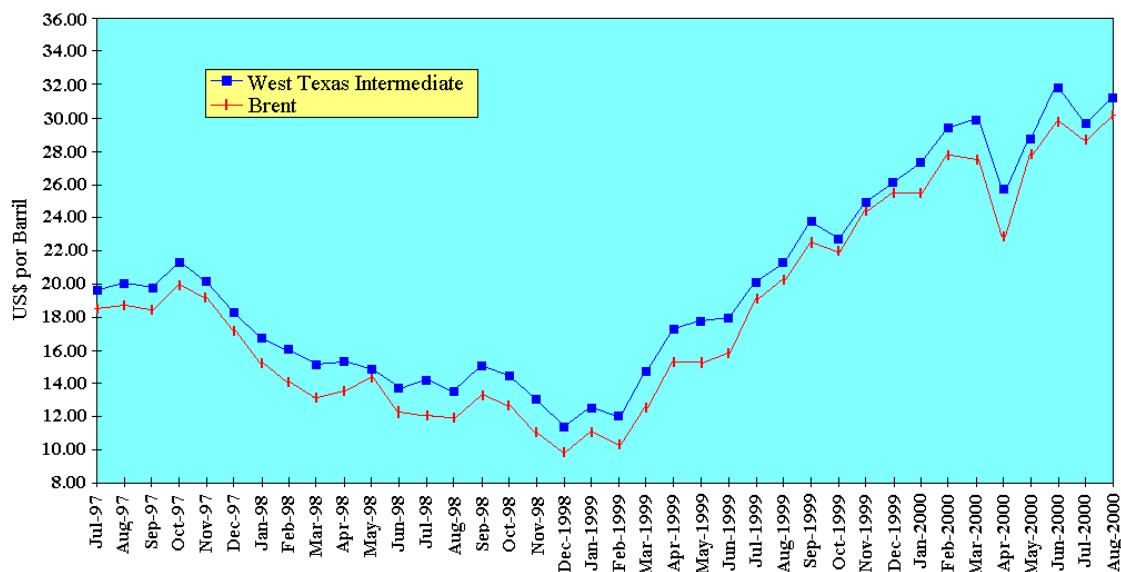
O Brasil pagava, em 1973, US\$ 3,86 pelo barril de petróleo, chegando a US\$ 21,50 em 1979 e retrocedendo para US\$ 9,12 em dezembro 1998 (ver Figura 4). Em outubro de 2000 esse preço evoluiu para um patamar extremamente elevado, em torno de US\$ 36,50, estabelecendo um novo recorde, onde os analistas do mercado internacional de petróleo alertavam que essa alta exagerada dos preços já poderia ser encarada como os primeiros sinais de uma provável crise de energia, tanto que, embora a OPEP esteja intervindo, aumentando a produção para forçar uma queda nos preços, os mesmos não têm cedido como esperado, e hoje já induzem a se projetar um horizonte de

preços se estabilizando na faixa de US\$ 26,00 a US\$ 28,00 para o ano de 2001.

Atualmente, no Brasil, os fatores econômicos que mais tem afetado o preço do petróleo são, respectivamente, a elevada volatilidade dos preços internacionais do petróleo e a progressiva variação cambial Dólar/Real.

No Brasil, mesmo com um substancial crescimento na produção de petróleo das últimas décadas, hoje suprimindo cerca de 70% do consumo interno de combustíveis, a importação de derivados de petróleo continua exercendo um grande peso na balança comercial.

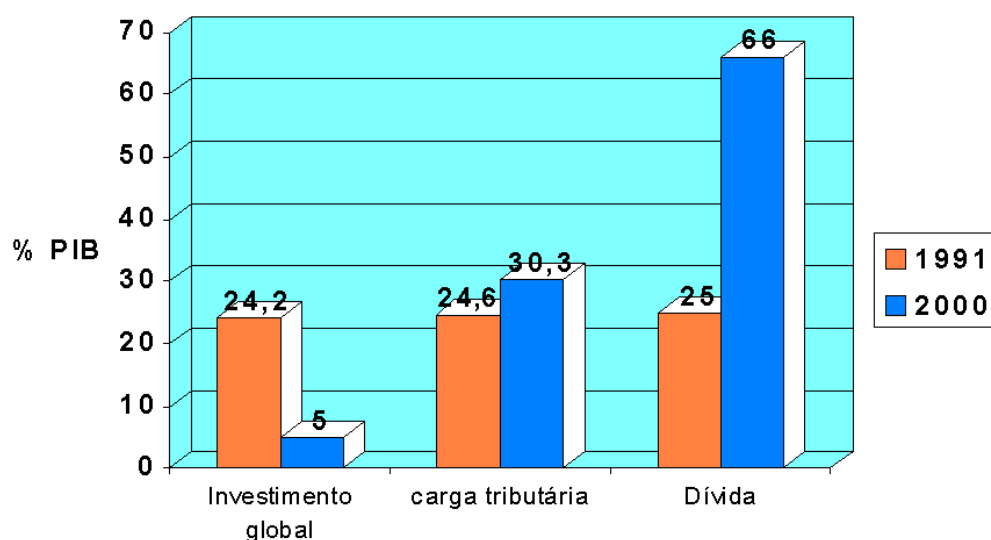
Preço Médio Mensal do Óleo Crú do Mercado Interno (WTI) versus o ULP Indicador de Paridade para Importação (Brent)



Source: US Energy Information Administration

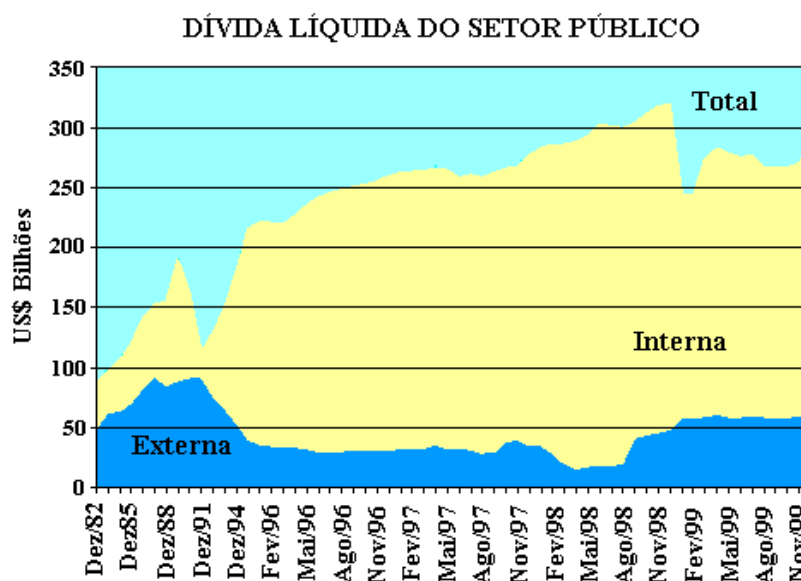
**FIGURA 4 - Evolução do preço do petróleo**

Fatores esses, que somados ao elevado déficit público e o crescente endividamento nacional da última década (ver Figura 5 e 6), contribuíram para uma crônica escassez de recursos públicos para investimento na conservação da malha rodoviária nacional, permitindo que se instalasse um gigantesco processo de degeneração precoce e progressiva dos pavimentos asfálticos no país.



**FIGURA 5 - Participação do Setor Público na Economia**

Fonte: IBGE; Publicado: Gazeta Mercantil, 16, 17 e 18 Junho, 2000, São Paulo



**FIGURA 6**

Em recentes levantamentos realizados para a “Pesquisa Rodoviária CNT – 1997” (Confederação Nacional do Transporte), sobre o estado de conservação da malha rodoviária pavimentada federal (ver Figura 7), mostram que 85,3% das rodovias estão em situação entre péssimo e deficiente (ver Figura 8), significando que o País está em uma situação crítica em relação às rodovias federais.

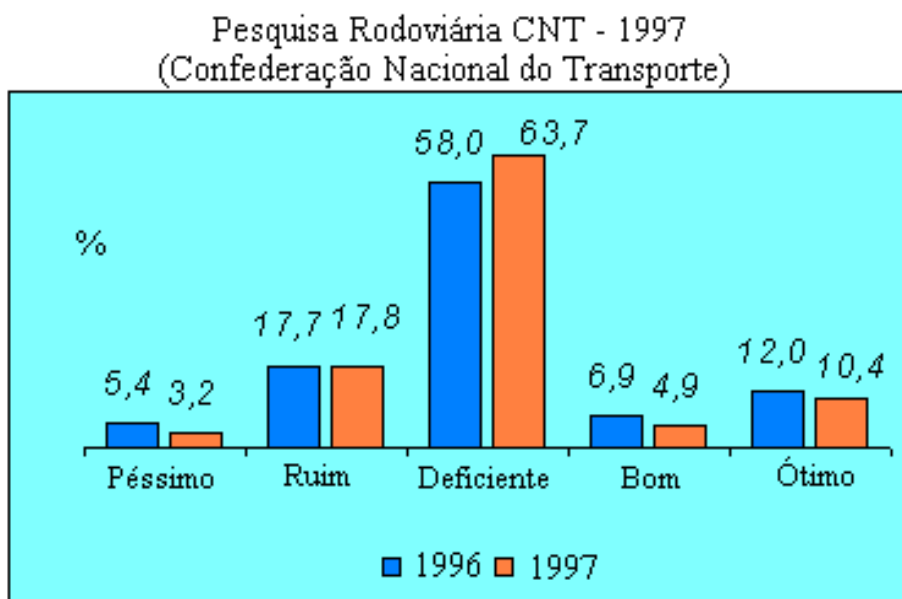


FIGURA 7

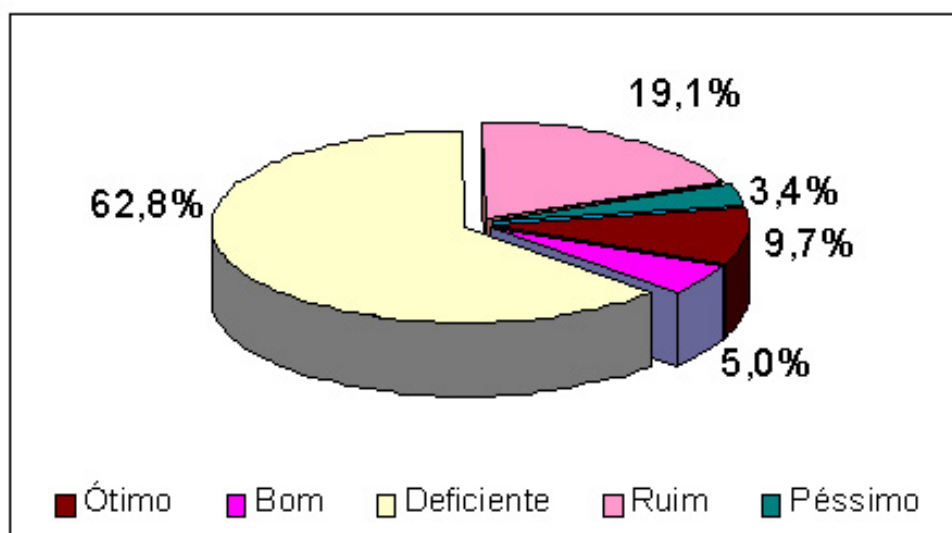


FIGURA 8

Face ao grande declínio do *investimento global* do setor público na economia (ver Figura 5), e em particular no setor rodoviário, caso os investimentos previstos no projeto "Brasil em Ação", do governo federal, não se concretizarem no tempo devido, a situação continuará se agravando cada vez mais, tendo em vista que e a conservação rotineira e normal tem-se evidenciado insuficiente para resolver este problema.

É evidente que este crescente estado de deterioração das rodovias nacionais continuará afetando significativamente o chamado *Custo Brasil*.

Portanto, no que tange ao setor rodoviário, um diagnóstico franco à respeito da opção quase que incondicional pelo pavimento flexível, como solução única existente para a pavimentação das estradas brasileiras, acabou se tornando um grande problema para a economia nacional nas últimas décadas, como consequência da falta de utilização de soluções alternativas, que implicassem em maior durabilidade das estradas, e que fizessem frente a crônica falta de recursos para a conservação da rede de pavimentação asfáltica nacional.

Ao considerar que, tecnologicamente o pavimento flexível e o pavimento rígido, têm as suas aplicações específicas, suas vantagens e desvantagens e que se prestam muito bem a determinadas condições compatíveis com as suas características físicas, priorizar o pavimento flexível, tornou a malha rodoviária bastante vulnerável às condições ambientais de umidade e temperaturas elevadas predominantes na maior parte do país, somando-se ainda um crescente volume de tráfego e de elevadas cargas, tem indubitavelmente sua durabilidade e seu desempenho comprometidos.

Outros fatores, como, o efeito da fadiga causada pelos carregamentos repetidos, as deformações permanentes por deflexão excessiva e, ainda, a ruptura pela passagem de eixos carregados além da capacidade de suporte do pavimento, acabam por comprometer irreversivelmente suas características de flexibilidade e reduzindo significativamente a sua vida útil, exigindo portanto um volume cada vez maior de recursos financeiros para a sua conservação.

Sabe-se ainda, que a maior parte dos veículos de carga, trafegam com peso superior ao permitido pela legislação vigente, procedimento este que tem contribuído decisivamente para uma aceleração no processo de deterioração dos pavimentos das estradas. Considerando esse fato, conclui-se, daí, ser extremamente necessário um profundo conhecimento e consideração do efetivo fluxo de cargas transportadas nas rodovias do País.

O alongamento da vida útil destes pavimentos seria possível, desde que, se implementasse políticas rigorosas de conservação, baseadas na utilização de

Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos, por exemplo o HDM-IV (Highway Design and Maintenance Standards Model), recomendado pelo Banco Mundial, como modelo de avaliação de desempenho para conservação de pavimentos.

O conhecimento e análise das condições cada vez mais adversas de trabalho e exposição dos pavimentos é necessária, sob pena de sua irreversível deterioração.

Infelizmente, mesmo nos casos onde este procedimento foi adotado, os benefícios esperados na maioria das vezes acabou não se concretizando, fruto, principalmente, dos motivos econômicos e conjunturais já citados, onde os recursos disponibilizados são sempre insuficientes e nem sempre ocorrem em épocas oportunas, inviabilizando os programas de conservação indispensáveis ao alongamento da vida útil desses pavimentos.

No seu trabalho, COTEJO ECONÔMICO EM TRECHOS DA RODOVIA DOS IMIGRANTES, LEVANDO-SE EM CONTA OS RESPECTIVOS DESEMPENHOS DURANTE 20 ANOS: PAVIMENTO ASFÁLTICO X PAVIMENTO RÍGIDO, Felipe Augusto Aranha Domingues <sup>(1)</sup>, pondera com muita propriedade que: "ao projetar e construir um pavimento, além dos demais aspectos importantes, *é preciso refletir bastante sobre quanto estarão sendo onerados os orçamentos futuros em decorrência das manutenções e recuperações que o pavimento necessitará.* É preciso que a escolha do tipo, e das demais características do pavimento, levem a resultados que minimizem esses problemas no futuro."

Do ponto de vista conjuntural pode-se citar ainda como fato complicador, a aceitação de redução da vida útil dos projetos (5 anos) por parte dos órgãos normativos e a utilização indiscriminada de pavimentos de baixo custo, como fatores determinantes de menores custos iniciais, com a finalidade de realizar o desejo político dos governantes, de interligar ao menor custo possível, todos os municípios às capitais; dispondo sempre de recursos insuficientes para atender às necessidades técnicas de durabilidade das obras.

Neste contexto, fica cada vez mais evidente a necessidade de se buscar soluções tecnológicas alternativas de projeto e de construção para a pavimentação rodoviária, que impliquem principalmente na maior *durabilidade* desses pavimentos, e que portanto, envolvam menores custos de conservação.

Sob este enfoque, o pavimento de concreto de cimento Portland (pavimento rígido), volta então a assumir o papel de destaque que já teve no passado, como uma alternativa moderna e eficaz para a pavimentação rodoviária em situações que envolvam condições críticas de trabalho e ambientais para o pavimento.

Uma das principais características do pavimento rígido que é a sua grande durabilidade e a baixíssima necessidade de manutenção, sem considerar ainda o fato de que, ao exercer simultaneamente a função de superfície de rolamento e camada estrutural, distribui mais uniformemente as tensões solicitantes, transmitindo menores deformações para as camadas inferiores do pavimento, exigindo portanto menor capacidade de suporte do sub-leito, sendo portanto boa alternativa para regiões de solos frágeis.

Sendo sua execução muito menos agressiva ao meio ambiente, sob o ponto de vista de que exige um movimento de terra significativamente menor que o exigido pelo pavimento flexível, pode representar uma alternativa bastante eficaz em regiões onde a questão ambiental tenha uma importância significativa, como as estradas de *parques* ou de *reservas ecológicas*.

Outro aspecto ambiental menos importante, mas a se considerar no caso do pavimento flexível, é a liberação no meio ambiente de partículas sólidas de material asfáltico. Elas se desagregam do pavimento pelo desgaste normal de operação, e podem contaminar as margens da rodovia com elementos químicos nocivos à natureza e muito pouco degradáveis como chumbo, enxofre, etc..

A história da humanidade mostra a preocupação do homem com a durabilidade das suas construções. Os tipos de construções egípcia, maya e azteca também



mostram que a execução buscava durabilidade das obras. Cientistas, arquitetos, engenheiros, construtores e outros, reconhecem que dados sobre vida útil dos pavimentos são essenciais para avaliar a durabilidade de novos empreendimentos. Estes dados de vida útil são também necessários para avaliar a performance como função do custo global. A seleção mais atrativa depende, portanto, do desempenho do pavimento como uma função do custo global <sup>(5,p.970)</sup>.

O pavimento de rígido alinha-se entre os tipos chamados nobres, por sua extraordinária durabilidade e desempenho estrutural. É, portanto, reconhecidamente a tecnologia mais adequada às rodovias e às vias urbanas de tráfego pesado e intenso, e em certas situações críticas de carregamento e de ambiência, como em aeroportos, áreas portuárias, postos de pesagem de veículos, praças de pedágio, frigoríficos e determinados pisos industriais sujeitos à solicitação de veículos especiais, cuja configuração de eixos de rodas foge aos padrões usuais.

A sua pouca utilização, certamente, se deve muito mais a pouca experiência de seu uso no Brasil, em comparação com outros tipos de pavimentos, do que a conclusões fundamentadas em análises mais profundas. A experiência de vários países que têm empregado o pavimento de concreto, até mesmo em estradas rurais, muitas delas voltadas quase que exclusivamente para a agricultura de subsistência, comprovam a viabilidade econômica dessa aplicação.

Por varias décadas acostumou-se a pavimentar com asfalto, sem considerar o concreto de cimento Portland, baseando-se em determinadas premissas que na atualidade não são de todo corretas. No passado se considerava o asfalto como um subproduto, era o que sobrava como resíduo do refino do *óleo cru*, e havia necessidade de utilizá-lo em alguma coisa, por isto no passado era vendido pelos produtores a preços subsidiados.

Em primeiro lugar a tecnologia moderna da industria petroquímica conseguiu extrair mais hidrocarbonetos destes resíduos e, por conseguinte o asfalto que

se produz hoje em dia não é comparável, em qualidade, aos asfaltos originais, e por outro lado, devido a compromissos internacionais e mudanças de mentalidade dos países produtores de petróleo, agora os derivados de petróleo são vendidos a preços reais, não subsidiados.

Isto aumentou muito os custos relativos dos pavimentos de asfalto e faz com que os pavimentos de concreto passem a competir eficientemente na pavimentação das estradas de alto trânsito, e que se obtenham ainda as vantagens adicionais desse tipo de pavimento principalmente para os usuários.

Na atualidade, é preciso que se tenha em mente que a época de recursos abundantes para o setor de transportes já passou. Mesmo que crises econômicas não ocorram, quanto menos os orçamentos futuros forem onerados, menos recursos precisarão ser alocados.

No Estado de Mato Grosso do Sul a situação não é diferente do restante do País. A questão do equacionamento dos problemas de conservação de sua malha rodoviária passa por uma fase de transição, onde a questão está sendo abordada da maneira descrita a seguir:

Numa primeira fase, foi aprovada uma lei estadual que instituiu o chamado Fundersul (Fundo de Desenvolvimento Rodoviário do Estado de Mato Grosso do Sul), com a finalidade canalizar recursos específicos para construção e conservação das rodovias, e que tem como fonte de recursos a cobrança de uma taxa sobre combustíveis e gado transportado. A utilização desta fonte de recursos, que de certa forma vem substituir o extinto Fundo Rodoviário Nacional. Embora, neste momento, esteja sendo alvo de muitas críticas pela sociedade sul-matogrossense, principalmente no que diz respeito às prioridades de aplicação destes recursos, que de certa forma sofrem influência de interesses políticos, representa sem dúvida um mecanismo importante para a geração de recursos para o setor rodoviário estadual e que, portanto, deve ser aperfeiçoado.

Numa segunda fase, acompanhando uma tendência mundial decorrente do chamado processo de globalização, a exemplo nacional do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), o tradicional Departamento Estadual de Estradas de Rodagem do Estado de Mato Grosso do Sul (DERSUL), está passando por uma radical transformação de identidade, alinhando-se mais a um modelo de Agência de Gestão de Empreendimentos, onde passam a prevalecer mais os conceitos de *terceirização* e *multi-função*, muito em evidência no mundo globalizado, deixando, portanto, de ser um órgão executivo para ser basicamente, um gestor de contratos. Neste contexto, será necessário, daqui para frente, começar a implementar *sistemáticas de gerenciamento* da malha rodoviária estadual, no sentido de dispor de dados confiáveis sobre o fluxo de veículos e cargas, bem como, o desempenho dos pavimentos e, a partir da análise dos mesmos, poder propor políticas de investimentos de médio e longo prazos para aplicação dos recursos do Fundersul na conservação de suas estradas, trazendo os benefícios esperados pelos usuários.

## **2.2. CUSTO DO CICLO DE VIDA**

É importante ressaltar que, para tomar uma correta decisão num projeto de infra-estrutura rodoviária, necessariamente deve-se considerar o custo total do projeto e não, como se faz atualmente, considerar somente o custo inicial de construção. Isto quer dizer que, deve-se levar em conta todos os custos ao longo da vida útil do projeto, incluindo os custos iniciais de construção, os custos de conservação, reabilitação, custos de operação dos veículos, custos de tempo pelo conceito de demoras de reparações, custos por acidentes, economia de combustível, etc.. Esta metodologia é conhecida como *Análise de Custo do Ciclo de Vida* <sup>(28)</sup>, e engloba o total dos custos das diferentes alternativas durante a vida útil da obra e os compara ao valor presente..

O Brasil alinha-se aos países, onde, segundo CASTRO, F.C./88, “Não fazem referências a modelos de avaliação de desempenho para tomada de decisão sobre manutenção e restauração”, conclusão tirada de levantamento às

respostas apresentadas pelos 21 países que responderam à Questão III, do XVIII Congresso Mundial de Estradas, realizado em Bruxelas, em setembro de 1987, que tratou dos pavimentos rígidos.

Como é bem sabido, se torna meta prioritária manter custos de operação na infra-estrutura rodoviária o mais baixo possível para aumentar a produtividade e competitividade do País, e neste contexto as estradas de concreto de cimento Portland podem representar um papel muito importante.

## 2.3. PAVIMENTOS.

### 2.2.1 CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS <sup>(29)</sup>:

Os itens abaixo, para efeito de comparação estão divididos em características econômicas, de desempenho, de projeto, de consumo de energia, de construção, de manutenção e de segurança.

#### Economia

Concreto	Asfalto
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo inicial moderado;</li> <li>• Desempenho a longo prazo, com pouca manutenção;</li> <li>• Custo anual baixo e facilmente determinável;</li> <li>• A qualidade da superfície é mantida ao longo de muitos anos;</li> <li>• Economiza-se até 30% nas despesas com iluminação das vias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo inicial cresceu com o aumento relativo do preço do petróleo;</li> <li>• Manutenção rotineira é cara;</li> <li>• Custo anual alto e de difícil previsão;</li> <li>• Os buracos e afundamentos são freqüentes e causam sérios danos aos veículos;</li> <li>• Não há economia na iluminação das vias.</li> </ul>

## Desempenho

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande vida útil (mais de 20 anos);</li> <li>• Resiste a produtos químicos, óleos, intempéries;</li> <li>• Conserva íntegra a seção transversal;</li> <li>• Melhor distribuição das cargas;</li> <li>• É praticamente impermeável;</li> <li>• É menos afetado pelo calor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequena vida útil (menos de 10 anos);</li> <li>• É fortemente afetado pelos mesmos agentes;</li> <li>• Deforma-se, afunda-se, formam-se trilhas de rodas e buracos;</li> <li>• Não distribui uniformemente as cargas;</li> <li>• Absorve a umidade com rapidez;</li> <li>• Altas temperaturas produzem amolecimento e a perda do material.</li> </ul>

## Projeto

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas de projeto praticamente invariáveis;</li> <li>• A resistência aumenta com a idade;</li> <li>• Os meios-fios e sarjetas podem ser construídos juntamente com o pavimento;</li> <li>• A seção total do pavimento é menor do que a necessária ao asfalto;</li> <li>• As estruturas de drenagem são mais simples.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os métodos de dimensionamento são muito variáveis;</li> <li>• A resistência costuma diminuir com a idade, principalmente em climas quentes;</li> <li>• Os meios-fios e sarjetas são separados do pavimento;</li> <li>• Requer maior escavação e maior movimento de terra;</li> <li>• São necessárias estruturas de drenagem mais complexas.</li> </ul>

## Consumo de Energia

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usa materiais locais, abundantes na Natureza;</li> <li>• Todos os reparos podem ser feitos com os mesmos materiais;</li> <li>• Em grande parte das obras o equipamento é reduzido, semi-mecânico e consome pouquíssimo combustível;</li> <li>• A mistura do concreto é feita a frio e a energia consumida é a elétrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É derivado do petróleo importado, consome divisas;</li> <li>• Usa os mesmos derivados do petróleo;</li> <li>• O equipamento é de grande porte e consumo.</li> <li>• A mistura do concreto é feita a quente e a energia consumida é o petróleo.</li> </ul>

## Construção

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo de duas camadas;</li> <li>• Rapidez de execução: concreto dosado em central;</li> <li>• Mão-de-obra não especializada e abundante;</li> <li>• Equipamento simplificado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camadas múltiplas;</li> <li>• Equipamento numeroso e complexo;</li> <li>• Quantidade variável de serviços e materiais;</li> <li>• Mão-de-obra escassa.</li> </ul>

## Manutenção

<b>Concreto</b>	<b>Asfalto</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequena necessidade de manutenção rotineira;</li> <li>• Manutenção pesada ou reforço somente após 25 anos ou mais;</li> <li>• Reparos uniformes e regulares;</li> <li>• Menos mão-de-obra e equipamentos simples.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remendos e substituições rotineiros;</li> <li>• Reforço ou recapeamento a partir do quinto ano;</li> <li>• Reparos inadequados e irregulares;</li> <li>• Mais mão-de-obra e equipamentos complexos.</li> </ul>

## Segurança

Concreto	Asfalto
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boa reflexão da luz, maior distância de visibilidade horizontal;</li> <li>• Pode-se dar à superfície a textura desejada, controlando-se as derrapagens;</li> <li>• Inclinação da seção transversal é pequena, o que permite melhor controle dos veículos;</li> <li>• Escoa melhor a água superficial;</li> <li>• A superfície permanece íntegra ao longo do tempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pouca reflexão da luz e visibilidade horizontal;</li> <li>• A superfície é lisa e escorregadia quando molhada;</li> <li>• Inclinação da seção é grande, o que dificulta o controle dos veículos;</li> <li>• A rugosidade superficial retém água;</li> <li>• A superfície deteriora-se e deforma-se prejudicando a segurança.</li> </ul>

### 2.3.2. VANTAGENS DO PAVIMENTO DE CIMENTO PORTLAND.

Alem da vantagem de uma estrada de maior durabilidade, são construídas com equipamentos automatizados e de alto desempenho, pode ainda oferecer aos cidadãos maiores benefícios que o asfalto, dentre os quais é possível destacar como mais importantes os seguintes:

- custo de manutenção muito baixo;
- não requer tapa-buracos, por tanto, não causam atrasos nem acidentes aos usuários;
- melhores características de rugosidade;
- resiste melhor aos efeitos de clima;
- não se deteriora por efeito de óleo diesel dos ônibus e caminhões;
- não se deforma nas áreas sujeitas a paradas e arranques freqüentes;
- maior economia na combustível dos veículos.

A última vantagem merece um comentário adicional. De acordo com um estudo realizado na Estados Unidos, pela *Texas Development Foundation* para a

*Federal Highway Administration*, se demonstrou que o consumo de combustível de um veículo pesado aumenta devido à deflexão que sofre o pavimento de asfalto por efeito da carga <sup>(28)</sup>.

Comprovou-se com os estudos realizados na Texas, que a economia de combustível é tal que se pagaria à construção de uma estrada de concreto com alto volume de caminhões pesados, em apenas 7 anos, somente com a economia desta diferença de consumo de combustível <sup>(28)</sup>.

É evidente que também toda a comunidade em geral se beneficiará com os pavimentos de concreto, pois estes lhes retornarão competitivos custos de inversão, menores custos de manutenção, maior vida útil aos veículos, maior segurança e comodidade.

### **2.3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE.**

Sabe-se que o custo operacional dos veículos, é um componente bastante significativo na composição dos custos dos transportes e conseqüentemente nos custos econômicos de uma determinada região ou País, e que, é fortemente influenciado pelas variações das condições físicas da *superfície da pista de rolamento* das rodovias (ver Figura 9), através do aumento no consumo de *combustíveis, pneus, mão de obra de manutenção, peças etc.*, dos veículos.

Portanto, para que se possa projetar a evolução desses custos ao longo da vida útil dessas rodovias, torna-se necessário o desenvolvimento de modelos matemáticos padronizados, que permitam diagnosticar, classificar e comparar o estado de conservação da superfície de rolamento de diversas rodovias.

De maneira geral são métodos onde são calculados certos *índices* representativos do *perfil longitudinal* da rodovia (ver Figura 10), de modo que para determinadas faixas de valores obtidos, se possa classificá-las como exemplo, como, *muito boa, boa, regular, ruim, péssima, etc.*

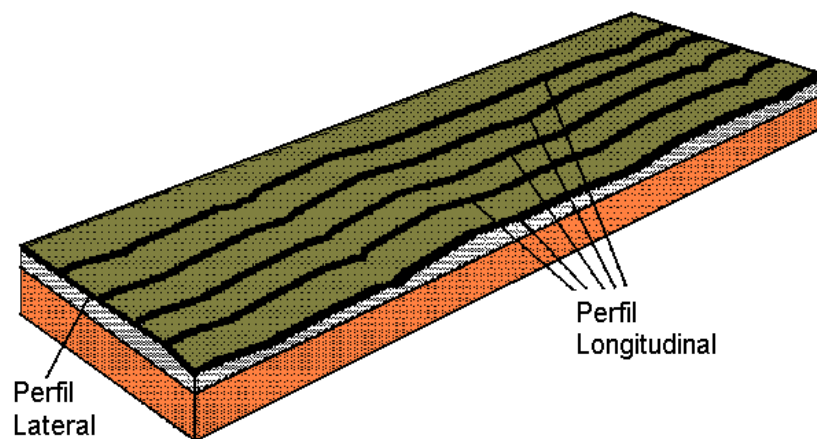




**FIGURA 9 - Superfície da pista de rolamento**

- Métodos de Determinação de Índices de Perfil

Normalmente são métodos onde um índice é calculado a partir da sumarização de uma série de números representativos das características de *elevação* de um determinado referencial, muitos índices de perfil podem ser calculados a partir de um único perfil, utilizando-se de diferentes modelos matemáticos, sua precisão é normalmente limitada pelos erros de medição do perfil.



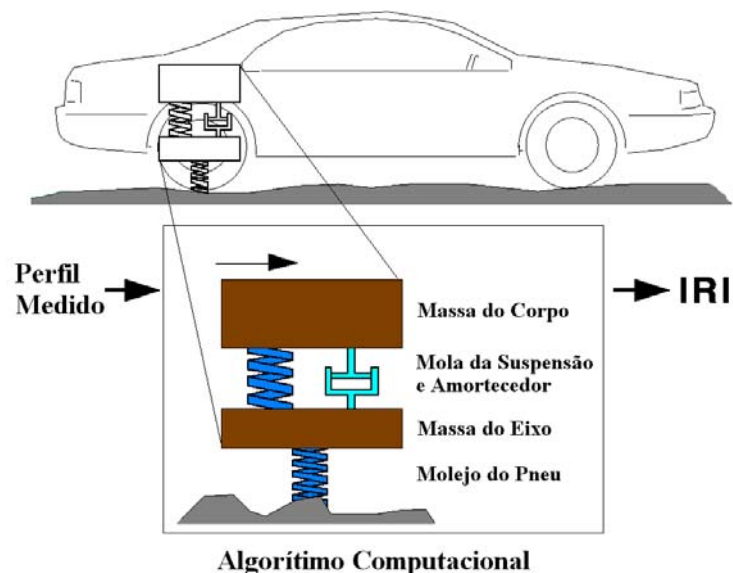
**FIGURA 10 – Perfil da superfície de rolamento<sup>(23)</sup>**

- Método do Índice Internacional de Rugosidade (IRI)

Os sistemas automatizados de *perfilamento* de rodovias incluem, normalmente, um *software* para calcular um índice estatístico, o chamado *Índice Internacional de Rugosidade* (IRI), que é um índice que representa a irregularidade longitudinal do perfil e serve como referência internacional, de modo que

medições realizadas em diferentes áreas e por diferentes métodos possam ser comparadas diretamente.

O filtro utilizado por este método é baseado em um modelo matemático chamado *Quarto de Carro* (ver Figura 11), onde a deflexão da suspensão é calculada a partir de um sistema mecânico de simulação, com uma resposta similar a de um carro de passageiros. O movimento simulado da suspensão, através de *software*, é acumulado e dividido pela distância percorrida, gerando um índice expresso em m/km, in/mi (polegadas/milhas), etc



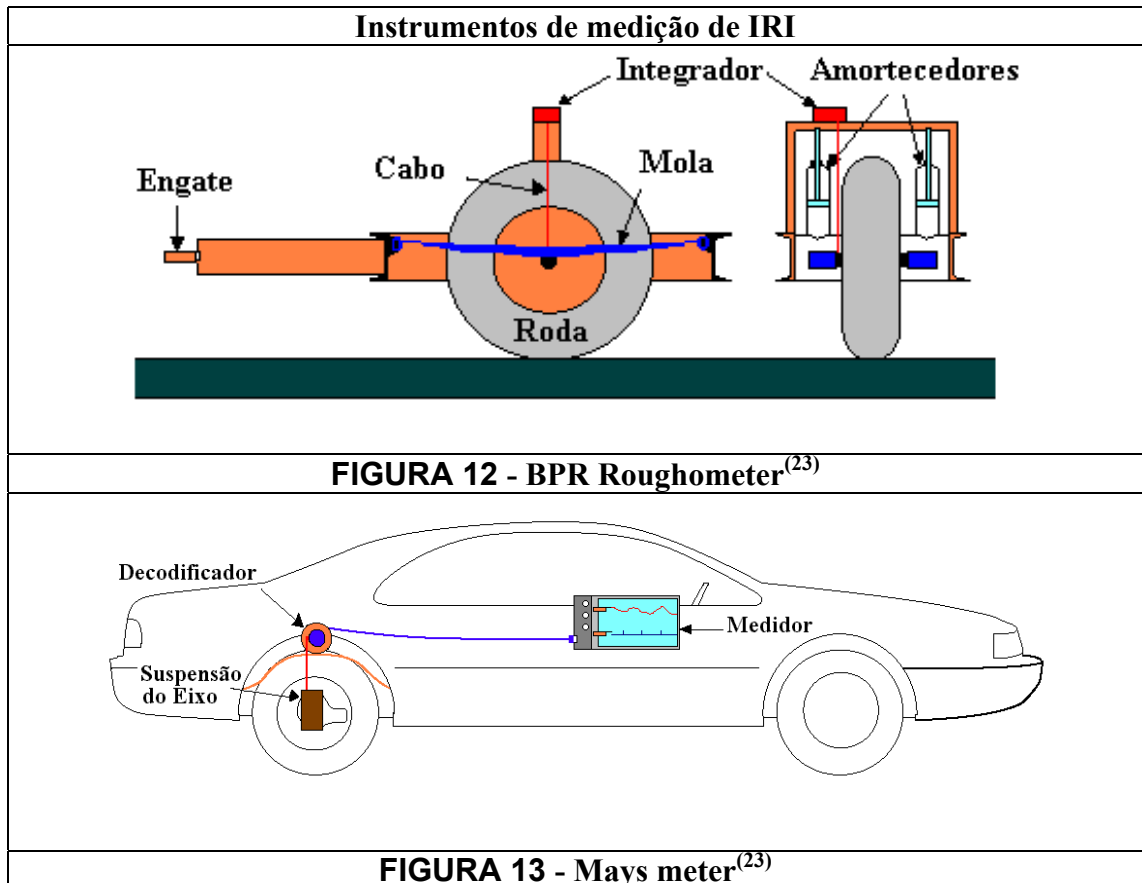
**FIGURA 11 - Quarto de Carro<sup>(23)</sup>**

O Banco Mundial desenvolveu, nos anos 70, diversos programas de pesquisa em grande escala para investigar algumas características básicas de irregularidades da superfície das rodovias, em países em desenvolvimento.

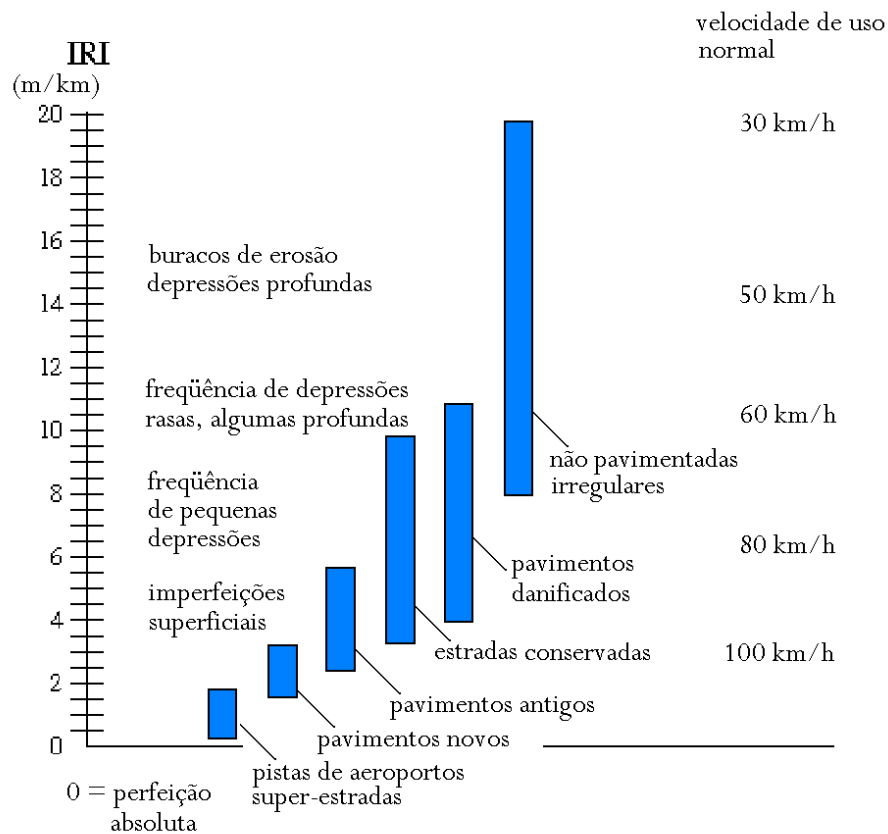
Em 1982, o Banco Mundial iniciou no Brasil um experimento de correlação para estabelecer um padrão de correlação e calibração para as diversas medidas de rugosidade.

Uma tabela publicada pelo Banco Mundial <sup>(19, p.37)</sup> faz uma exposição de como obter o IRI a partir de uma variedade de instrumentos (ver Figura 12 e 13). O IRI é portanto um indicador geral da condição do pavimento.

Para os técnicos brasileiros, as principais *Escalas Padrão* de medição de Irregularidade Longitudinal dos pavimentos são o IRI e o *Quociente de Irregularidade* (QI), cuja unidade é contagens/km, que tem um valor de aproximadamente 13 vezes o valor do IRI.



Ver a Figura 14, que mostra as faixas de IRI consideradas padrões para diferentes classes de rodovias.



**FIGURA 14 - Faixas de IRI por Classes de Rodovias<sup>(23)</sup>**

Fonte: p.31/Road Deterioration and Maintenance Effects/A World Bank Publication

## 2.4. MATERIAIS

### 2.4.1. ASFALTO

#### 2.4.1.1. INTRODUÇÃO.

O asfalto é um sistema coloidal composto de uma mistura de hidrocarbonetos, chamada de betume, no qual é difícil estabelecer uma distinção clara entre a fase contínua e a fase dispersa. As partículas dispersas são chamadas de asfaltenos, que são hidrocarbonetos de elevado peso molecular ( $10^3$  a  $10^5$ ), de

caráter predominantemente aromático e cuja razão de carbono/hidrogênio é aproximadamente 0,8 a 0,9 <sup>(31)</sup>.

Peso Molecular: Massa de 1,0 mol de substância, relativo ao padrão de carbono = 12,000 gramas/mol, definido por convenção.

Os asfaltos de petróleo são obtidos principalmente por destilação de certos óleos crus ou por evaporação de depósitos naturais localizados na superfície terrestre (asfaltos naturais).

Os asfaltos naturais podem ser encontrados em duas formas <sup>(31)</sup>:

- nas depressões da crosta terrestre, constituindo os *chamados lagos de asfalto*, como o existente em Trinidad, América Central, de 600 m de diâmetro e 40 m de profundidade na parte central. Interessantes são os da Califórnia, que preservam, por vezes, animais pleistocênicos;
- impregnado nos poros de algumas formações rochosas, como a gilsonita.

A composição dos asfaltos de petróleo variam conforme a sua procedência: alguns óleos, como o da Pensilvânia, não contêm asfalto; em outros, o conteúdo de asfalto pode ser de 20% ou mais.

Existe uma quantidade variável de enxofre no asfalto: mais de 6% no asfalto mexicano e, aproximadamente, 1% no asfalto da Califórnia. Também há nitrogênio, desde indícios até 1,5%, às vezes oxigênio (até 5%) e menos de 1% de sais, proveniente da água salgada dos poços de petróleo. Esses componentes não influenciam de modo importante nos usos do asfalto <sup>(31)</sup>.

Como o asfalto de petróleo é o resíduo resultante da destilação do petróleo cru, sua composição também depende do grau a que foi levada a destilação. No processo, as frações leves do petróleo (gasolina, querosene, etc) são separadas através de torre de fracionamento a vácuo, de modo que as temperaturas são relativamente baixas, evitando o craqueamento do asfalto.

No Brasil, a produção de asfalto iniciou-se em 1956, com a Petrobras S/A. A primeira unidade a processar o produto foi uma fábrica nas redondezas da Refinaria Presidente Bernardes, em Cubatão (SP) <sup>(32)</sup>.

Classificação dos asfaltos:

O asfalto pode ser obtido em diversas consistências, e destinam-se principalmente para pavimentação, e em menor escala para fins industriais, impermeabilização, isolamento, etc.

Cimentos asfálticos (CAP): são asfaltos "sólidos", de elevada viscosidade.

Os *asfaltos para pavimentação* dividem-se em três grupos:

- *asfaltos diluídos*: são resultantes da diluição do cimento asfáltico em nafta, querosene ou gasóleo. De acordo com o tempo de cura, esses asfaltos podem ser classificados em:
  1. cura rápida (CR); diluído em nafta.
  2. cura média (CM); diluído em querosene.
  3. cura lenta (CL); diluído em gasóleo.

Obs: Denomina-se cura ao tempo necessário para o solvente evaporar, após a aplicação do asfalto diluído.

Os asfaltos diluídos são empregados para aspersão do piso durante a pavimentação.

- *asfaltos emulsionados*: trata-se de asfalto finamente dividido em partículas que se encontram emulsionadas em água através de um agente emulsificante. Por serem de uso mais simples, os asfaltos emulsionados estão sendo mais empregados do que os asfaltos diluídos na pavimentação.

- *asfaltos industriais*: compreendem principalmente os asfaltos oxidados. Estes são obtidos através de injeção de ar no cimento asfáltico, resultando num produto de baixa susceptibilidade térmica; amplamente empregado como revestimentos impermeabilizantes.

#### **2.4.1.2. MATÉRIA PRIMA**

Petróleo: O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos de origem natural que contém freqüentemente gás, alcatrão e parafina. A designação de petróleo deriva das palavras latinas "*Petra*" (pedra) e "*Oleum*" (óleo).

Segundo a teoria atualmente aceita, o petróleo teve origem na decomposição de resíduos orgânicos (animais, vegetais e outros compostos), favorecida por elevadas temperaturas e pressões, no decurso de um longo período geológico.

Os compostos assim formados obedecem a uma disposição dentro dessa mistura, de acordo com suas respectivas densidades.

Verifica-se que as jazidas ou lençóis de petróleo são encontrados nas dobras da terra denominadas Anticlíveis ou Anticlinais.

Apesar de já ser conhecido pelos egípcios, chineses, japoneses, incas, astecas e de aparecer em citações da Bíblia (Gênesis), o primeiro poço a produzir petróleo foi perfurado pelo coronel "Edwin Drake", 1859, Pensilvania ,EUA, com aproximadamente 10 (dez) metros de profundidade <sup>(33)</sup>.

#### **2.4.2. CIMENTO PORTLAND**

##### **2.4.2.1. INTRODUÇÃO.**

O cimento Portland é um material pulverulento (passante na peneira 0,0075mm), constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Estes silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com

água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, fornecendo elevada resistência mecânica <sup>(3,p.30)</sup>.

O cimento Portland resulta da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento até a fusão incipiente (aproximadamente 30% da fase líquida) da mistura de calcário e argila, que são rochas minerais encontradas em jazidas naturais e abundantes na crosta terrestre, convenientemente dosadas e homogeneizadas, de tal forma que toda a cal se combine com os compostos argilosos, sem que depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial <sup>(3,p.30)</sup>.

Após a queima, é feita pequena adição de sulfato de cálcio, de modo que o teor de  $\text{SO}_3$  não ultrapasse 3%, a fim de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água <sup>(3,p.30)</sup>.

A sua descoberta é creditada a Joseph Aspdin, um pedreiro que em 1824 patenteou o produto com o nome cimento Portland, numa referência a *portlandstone*, um tipo de rocha arenosa muito utilizada na Inglaterra na região de Portland <sup>(3,p.30)</sup>.

Entretanto poucos anos antes, na França, Louis Vicat publicou o resultado de suas experiências contendo a teoria básica para a produção e emprego de um novo tipo de aglomerante: o cimento artificial <sup>(3,p.30)</sup>.

Também não pode ser esquecido o trabalho de John Smeaton que já em 1756, procurava um aglomerante que endurecesse e resistisse à ação da água de modo a facilitar a reconstrução do farol de Edystone, na Inglaterra. Em suas tentativas, verificou que uma mistura calcinada de calcário e argila tornava-se depois de moída e misturada com água, uma rocha tão resistente quanto as que usava nas suas construções <sup>(3,p.30)</sup>.

A fabricação do cimento Portland envolve as seguintes operações <sup>(3,p.31)</sup> :



- extração da matéria prima que se faz pela técnica usual de exploração de pedreiras, quando se trata de rochas e xistos; por escavação, segundo as técnicas usuais de movimentação de terras, quando se trata de argilas, e por dragagens quando for o caso;
- britagem do calcário, a matéria prima quando rochosa, é submetida a uma operação de beneficiamento com o propósito de reduzir o material à condição de grãos de tamanho conveniente. Que depois são encaminhados a depósitos apropriados;
- dosagem da mistura crua;
- moagem e mistura;
- homogeneização;
- clinquerização;
- esfriamento;
- adições finais e moagem;
- ensacamento.

O processo de fabricação pode ser feito segundo dois métodos <sup>(3,p.30)</sup>:

- *via úmida*; onde as matérias primas são dosadas com água e vão ao forno em forma de pasta;
- *via seca*; onde a mistura é inicialmente a matéria prima conduzida a uma estufa onde é convenientemente seca. Uma vez secos os materiais argilosos e calcários são proporcionados e conduzidos aos moinhos onde são reduzidos a pequenos grãos, posteriormente transportados para silos de homogeneização, nos quais a composição básica da mistura é quimicamente controlada e são feitas eventualmente as correções. Essa mistura é armazenada em silos apropriados onde aguarda o momento de ser conduzida ao forno para queima.

Atualmente, a maior parte do cimento brasileiro é produzida por via seca, que apesar de exigir maiores cuidados quanto á poluição (exige coletores de pó nas chaminés), tem-se mostrado mais econômico.

A operação de queima da mistura crua, nos dois casos é feita em fornos cilíndricos de aço, rotativos, de grande comprimento e pequena inclinação; revestidos internamente de alvenaria refratária e tendo na extremidade mais baixa um maçarico onde se processa a queima do combustível e recebendo na parte superior o *cru*.

A temperatura final do forno chega a níveis necessários à transformação química que conduz à produção do clínquer, que em seguida passa por um processo de resfriamento rápido, pela passagem de ar frio, e posteriormente é transportado e devidamente estocado.

O clínquer ainda recebe uma certa quantidade de gesso, que será responsável pelo controle do tempo de início de pega, antes de ser conduzido ao moinho de cimento, onde é finamente moído (pulverizado), assumindo as características finais para armazenamento e distribuição.

#### **2.4.2.2. MATÉRIA PRIMA** <sup>(3,p.30)</sup>:

- Calcário: o calcário é o carbonato de cálcio( $\text{CaCO}_3$ ), que se apresenta na natureza em forma de rochas com impurezas, como o óxido de magnésio,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
- Argila: a argila empregada na fabricação do cimento é essencialmente constituída de um silicato de alumínio hidratado, geralmente contendo ferro e outros minerais em menores percentagens. A argila fornece os óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  necessários à fabricação do cimento.
- Gesso: é o produto de adição final no processo de fabricação para controle do tempo de pega; a gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é o gesso mais empregado, no Brasil as jazidas deste mineral encontram-se principalmente na região nordeste.

A Tabela 1, mostra os principais tipos de cimento Portland fabricados no Brasil.

<b>TABELA 1</b>		
<b>Tipos de cimento Portland produzidos comercialmente no Brasil</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classe</b>
Comum	CP I – Cimento Portland Comum	25,32,40
	CP I-S – Cimento Portland c/adiação	25,32,40
Composto	CP II-E – Cimento Portland Composto c/escória	25,32,40
	CP II-Z – Cimento Portland Composto c/pozolana	25,32,40
	CP II-F – Cimento Portland Composto c/filler	25,32,40
De Alto Forno	CP III – Cimento Portland de Alto Forno	25,32,40
Pozolânico	CP IV – Cimento Portland Pozolânico	25,32
De Alta Resistência Inicial	CP V – ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	
Resistente à Sulfatos	MRS – Cimento Portland de Moderada Resistência a Sulfatos	25,32
	ARS – Cimento Portland de Alta Resistência a Sulfatos	20

Fonte: (3,p.43)

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1. AVALIAÇÃO SOCIAL DE PROJETOS

Segundo CONTADOR, C.R./88, “As conclusões sobre a rentabilidade privada de um projeto nem sempre se compatibilizam com as avaliações que levem em consideração a economia como um todo. Itens relacionados a impostos e subsídios, a efeitos indiretos de uma ação sobre o bem-estar de outros indivíduos e sobre a rentabilidade de outros empreendimentos, à existência de monopólios e a controles de preços, são algumas das razões para a divergência entre preços sociais e de mercado.”

Ainda, segundo CONTADOR, C.R./88, “Após uma fase econômica de aparente abundância de recursos que antecedeu os anos 80, contrariando as regras econômicas mais básicas, a escassez visível e a necessidade de controlar o desperdício, são os novos atores no cenário do Brasil.”

O presente *estudo de caso*, trata-se da determinação da melhor alternativa de empreendimento para melhoramento das condições da superfície de rolamento de uma rodovia existente.

Como se trata de um empreendimento do *setor público*, onde o estado deve se preocupar não apenas com suas próprias receitas orçamentárias como também com as receitas dos indivíduos que o compõe, enfoque *Social*, nos leva a considerar um conceito de rentabilidade, onde considera-se como *receitas auferidas* o fato das pessoas “*não sofrerem o ônus das despesas*”, em última análise, considera-se como *Receitas*, os *Benefícios* auferidos pelos usuários.

No caso de empreendimentos rodoviários, considera-se, na prática como *Benefícios* advindos desta melhoria, as *reduções nos custos operacionais dos veículos* e as *reduções nos custos de conservação da via*, que são os *Benefícios diretos* e passíveis de avaliação monetária.

### 3.1.1. ANÁLISE DE INVESTIMENTO SOB A ÓTICA "SOCIAL"

A análise de investimentos, que consiste na aplicação do conceito de equivalência financeira à análise de fluxo de caixa de projetos, pode ser aplicada indistintamente tanto a nível de uma unidade de produção (nível empresarial) quanto à economia como um todo na avaliação do *bem-estar social*<sup>(25)</sup>. De uma maneira geral o que se pretende é responder se vários projetos de investimentos devem ser empreendidos e, no caso dos recursos serem limitados, qual ou quais destes projetos devam ser eleitos.

No entanto, quando se trata de aplicar a análise de investimentos ao nível de economia como um todo, a tarefa torna-se bastante complexa, visto que, em contraposição aos projetos privados onde prevalece a "*Ótica Empresarial ou Privada*"<sup>(25)</sup>, os investimentos governamentais por atuarem sobre uma área mais ampla da sociedade devem ser abordados sob a "*Ótica Social ou Pública*"<sup>(25)</sup>.

Em termos gerais, o economista substitui os conceitos mais precisos de *Despesa* e *Receita* da empresa privada pelos conceitos menos precisos, embora significativos, de *Custo de Oportunidade*<sup>(25)</sup> (valor social que se abre mão quando os recursos são desviados de atividades econômicas alternativas para um determinado projeto) e *Benefício Social*<sup>(25)</sup>, e ainda, o conceito de *Lucro*, pelo conceito de *Benefício Social Líquido*<sup>(25)</sup> (excesso de benefício social sobre o custo).

Para a quantificação dos benefícios de um empreendimento de transporte rodoviário, de modo que se possa analisar a viabilidade do empreendimento, é necessário ter-se uma estimativa dos efeitos desse empreendimento.

Tais efeitos são classificados como benefícios diretos e indiretos, consistindo os primeiros no resultado direto para os usuários do empreendimento e os segundos, nas demais conseqüências que deles decorrem para as atividades econômicas e sociais.

Pode-se classificar esses benefícios como:

1 - Benefícios Diretos:

1.1 - Reduções no custo dos transportes;

1.1.1 Redução do custo operacional dos veículos;

1.1.2 Redução das quebras e deterioração das cargas transportadas;

1.1.3 Aumento do porte dos caminhões;

1.1.4 Redução do tempo de viagem;

1.2 - Reduções no custo de conservação.

2 - Benefícios Indiretos:

2.1 Alterações na renda;

2.2 Alterações no nível de emprego;

2.3 Alterações na produção;

2.4 Facilidades para acesso à educação;

2.5 Facilidades para acesso à saúde;

2.6 Conforto e segurança

2.7 Etc.

Para a finalidade desse estudo serão considerados apenas os Benefícios Diretos de: Redução do custo operacional dos veículos e, Reduções no custo de conservação.

### **3.1.2. CUSTO OPERACIONAL DOS VEÍCULOS.**

As principais características de uma rodovia que podem afetar o custo operacional de um determinado veículo são:

- Tipo da superfície de rolamento;
- Condições da superfície de rolamento;
- Pontes estreitas (largura < 5m);
- Curvas horizontais de pequeno raio (< 100m);

- Curvas verticais que não oferecem visibilidade mínima (lombadas e depressões);
- Atrito lateral;
- Etc.

Dentre os quais pode-se destacar como mais significativas, o tipo e as condições da superfície de rolamento, e que são consideradas neste trabalho para a determinação dos custos operacionais dos veículos.

Os itens considerados normalmente na composição do custo operacional dos veículos são:

- Combustíveis;
- Lubrificantes;
- Pneus;
- Manutenção;
- Salário (motorista e ajudante, no caso de ônibus e caminhões);
- Depreciação;
- Juros;
- Seguro;
- Taxas de administração.

Conhecendo-se a composição do tráfego existente, a taxa média anual de crescimento do tráfego e custo de oportunidade de capital bem como a evolução da irregularidade da superfície do pavimento, pode-se calcular o custo operacional durante a vida útil do empreendimento.

### **3.1.3. CUSTOS DE CONSERVAÇÃO DA RODOVIA.**

Normalmente os melhoramentos que passíveis de serem implementados em uma rodovia, podem consistir em:

- Regularização da superfície de rolamento;

- Adoção de superfície de rolamento de nível mais elevado (adequação de cotas);
- Mudança de classe da rodovia (reforço).

### 3.1.4. MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Existem duas classes de investimentos:

- a) *Mutuamente exclusivos* – quando a escolha de uma alternativa elimina as demais. Equivale a dizer que há necessidade de se optar pela implantação de apenas um deles. Que é a classe que se enquadra este estudo de caso.
- b) *Independentes* – quando a escolha de uma alternativa não elimina a chance de qualquer outra ser realizada. Equivale a dizer que o investidor deverá optar por aquele conjunto de alternativas que maximize a soma dos benefícios líquidos descontados, na hipótese de limitação de recursos para investimento.

Custo de Oportunidade de Capital ( $r_{op}$ ).

Sempre que se faz presente uma possibilidade de investimento, é necessário que se tenha um elemento de comparação, que será dado pelo *custo de oportunidade de capital* (que representa o valor que o investidor deixaria de receber no uso alternativo desse capital ao aplicá-lo em um determinado projeto).

Teoricamente, a alocação ótima do capital será obtida, se for estabelecido um preço para o capital de tal modo que assegure que todo novo capital seja investido e que, o último investimento feito, permita uma remuneração igual ou superior à remuneração de qualquer investimento alternativo.

Na prática existem fatores limitativos a esses conceitos teóricos, tais como, o risco, a inflação, a preferência pela liquidez, a intervenção estatal e etc.



Um investidor ante uma alternativa de investimento, poderá atuar das seguintes formas:

- a) aceitar o investimento – neste caso estará preferindo a *Taxa Interna* deste projeto, em detrimento do *Custo de Oportunidade de Capital*;
- b) rejeitar o investimento – neste caso, estará então optando pelo *Custo de Oportunidade de Capital*, em detrimento da *Taxa Interna* do projeto.

Normalmente os métodos de análise mais empregados em estudos governamentais são:

- a) Diferença Benefício-Custo (B-C).
- b) Taxa Interna de Retorno (TIR).

O primeiro método consiste em se calcular o Valor Presente ou a série uniforme equivalente dos benefícios e custos e compará-los, já o método da *Taxa Interna de Retorno* (TIR) ou da *Rentabilidade*, consiste em se calcular a taxa de juros que anula o fluxo de caixa do projeto e compará-la com o *Custo de Oportunidade de Capital* ( $r_{op}$ ).

A análise de investimentos *mutuamente exclusivos*, como o caso em estudo, utilizando os métodos baseados nas relações de *benefícios e custos*, considerando o *Valor Presente*, compreende:

- a) Calcular o *Valor Presente* de cada um dos investimentos, usando como *taxa de desconto* ou *Fator de Valor Presente* (FVP), o *custo de oportunidade de capital* ( $r_{op}$ ).
- b) Desprezar os investimentos que apresentarem *Valor Presente* negativo (está implícito de que se aceita a alternativa não negativa em detrimento destas).

- c) Dentre os investimentos de *valores presentes* não negativos, optar pelo investimento de maior *Valor Presente*.

*Taxa de Desconto* ou *Fator de Valor Presente* (FVP), é sempre menor que a unidade, o que reflete a noção de que quantias futuras (atualizadas) são menos valiosas que as quantias presentes. Neste caso, refere-se a uma taxa de juros como sendo uma “taxa de desconto”.

A análise de investimentos *mutuamente exclusivos*, como o caso em estudo, utilizando o método baseado na *taxa de retorno*, e considerando o *Valor Presente*, compreende em:

- a) Calcular a taxa interna de retorno (TIR) de cada um dos investimentos.
- b) Eliminar os investimentos com taxa interna de retorno  $(TIR) < (r_{op})$ .
- c) Classificar os investimentos restantes em ordem crescente.

Os métodos para se analisar os *fluxos de caixa* para este tipo de empreendimento serão como os apresentados a seguir:

- *Método da diferença entre o Benefício e o Custo (B-C)* do empreendimento, considerando-se as *poupanças* adicionais dos usuários como Benefícios (redução dos custos de operação e conservação), escolhendo-se o que apresentar maior *Valor Presente*.
- *Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)*, a taxa interna de juros, ou taxa interna de retorno de um fluxo, que é aquela que anula o custo inicial do empreendimento, somente serão aceitos os projetos cuja (TIR) seja igual ou superior ao *custo de oportunidade do capital* ( $r_{op}$ ).

### 3.2. PROJETO DA RODOVIA BR/262

Projeto: Final de Engenharia da Rodovia BR/262

Trecho: Miranda - Corumbá

Sub-trecho: Miranda - Morro do Azeite

Elaboração: Departamento de Estradas de Rodagem de Mato Grosso do Sul - DERSUL

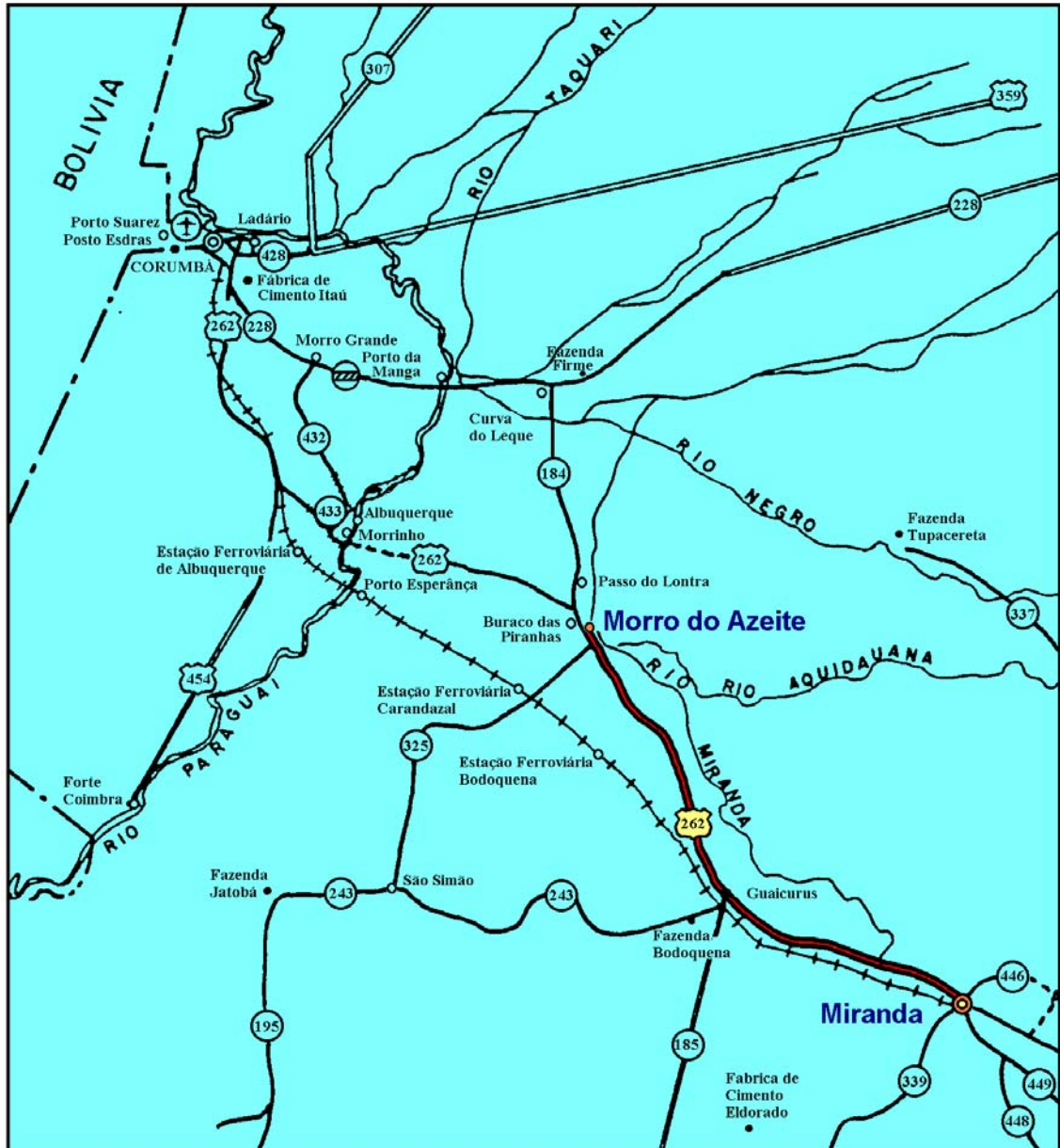
Data: Março/84

#### 3.2.1. DIRETRIZ DO PROJETO

Para a elaboração do projeto final de engenharia da rodovia BR/262, trecho Miranda-Corumbá, sub-trecho Miranda-Morro do Azeite, em março/84, o Dersul elaborou um trabalho de pesquisa, visando a implantação do melhor traçado que se enquadrasse para a região (ver Figura 15 e 16).



**FIGURA 15**



**FIGURA 16** – Mapa de Situação: Detalhe

Para tanto, foram utilizadas cartas planialtimétricas, fotografias aéreas, bem como sobrevôo e visitas in-loco por técnicos do Dersul, resultando em uma série de alternativas apresentadas.

Com base no conjunto de fatores detectados, foi selecionado o traçado mais conveniente à rodovia, e que teve como ponto crucial de sua escolha, o sentido preferencial das águas que cortam o pantanal, ligando o Rio Miranda ao Rio Paraguai, sempre com o objetivo da diminuição de problemas de drenagem da complexa bacia do Pantanal. Portanto, observando-se sempre o sentido de

escoamento das águas, procurando com isto evitar o levantamento do nível de enchente do Pantanal sul-matogrossense, que é caracterizado por um relevo praticamente plano e de baixíssima declividade, com uma complexa rede hidrográfica, e sujeita à inundações periódicas.

### 3.2.2. ESTUDOS DE TRÁFEGO

Os estudos de tráfego, foram elaborados com o objetivo de avaliar o comportamento e circulação do tráfego, estabelecendo critérios que fixassem as características técnico-operacionais da rodovia (ver Tabela 2, 3 e 4).

<b>TABELA 2</b>	
<b>Projeto</b>	Projeto Final de Engenharia
<b>Rodovia</b>	BR/262
<b>Trecho</b>	Miranda - Corumbá
<b>Sub-trecho</b>	Miranda - Morro do Azeite
<b>Extensão</b>	97,389 Km (0-4869+09,08m)
<b>Autor</b>	Departamento de Estradas de Rodagem de Mato Grosso do Sul - DERSUL Diretoria de Planejamento/Departamento de Estudos e Projetos Março/1984

<b>TABELA 3</b>	
<b>Características Técnicas</b>	
<b>Classe</b>	II DNER
<b>Região</b>	PLANA
<b>Velocidade Diretriz(km/h)</b>	80
<b>Distância mínima de Visibilidade de parada(m)</b>	100,00
<b>Distância mínima de Visibilidade de ultrapassagem(m)</b>	500,00
<b>Largura da Faixa de Rolamento(m)</b>	7,00
<b>Largura da Faixa de Segurança(m)</b>	1,00
<b>Largura da Plataforma(m)</b>	9,00
<b>Greide máximo(%)</b>	3,00
<b>Raio Mínimo(m)</b>	200,00
<b>Taxa máxima de Superelevação(%)</b>	8,00
<b>Faixa de Domínio(m)</b>	70,00
<b>Vida útil de projeto(anos)</b>	10

<b>TABELA 4</b>						
<b>Característica Operacional</b>						
<b>Discriminação</b>			<b>1985</b>		<b>1995</b>	
			<b>Quantidade</b>	<b>%</b>	<b>Quantidade</b>	<b>%</b>
<b>Tráfego</b>	<b>Composição</b>	Veículos de passeio	130	35,23	423	35,40
		Coletivos	4	1,08	12	1,00
		Veículos de carga	235	63,69	760	63,60
	<b>Operação</b>	Tráfego Médio Diário(TMD)	369	100	1195	100
		Nível de Serviço	B		C	
		Número "N"	3,0 x 10 <sup>5</sup>		1,1 x 10 <sup>6</sup>	

### 3.2.2.1. TRÁFEGO DA ÉPOCA

As avaliações e caracterizações do tráfego da época, foram efetuadas com base nos dados de contagem volumétrica, realizadas trimestralmente pelo Setor de Estatísticas de Tráfego do Dersul, considerando as séries históricas de contagem de tráfego (de 1792 a 1983) para os diversos segmentos rodoviários da região que influenciavam na geração de tráfego para a rodovia em estudo.

### 3.2.2.2. EVOLUÇÃO DO TRÁFEGO

No estudo das taxas de projeção do tráfego, procurou-se acompanhar a evolução do tráfego nas rodovias já pavimentadas existentes na região, que estiveram sujeitas a processos de implantação e pavimentação, semelhantes ao que se propõe para o trecho em projeto, onde foram consultados e/ou coletados dados de apuração de tráfego realizados rotineiramente pelo Setor de Estatísticas de Tráfego do Dersul, e da compilação e análise destes dados obteve-se para *taxa anual de crescimento* de 12,5%.

Definiu-se como ano de abertura ao tráfego para a rodovia, o ano de 1985, a partir do qual se estabeleceu um período de 10 anos de vida útil, ao qual foi chamado de período de projeto.

A partir da análise e associação dos dados supracitados, obtiveram-se os resultados para o tráfego médio diário do ano de abertura(1985) ao 10º ano(1995), constantes na Tabela 5.

<b>TABELA 5</b>						
<b>Ano</b>	<b>TMD Por categoria de serviço</b>					<b>Total</b>
	<b>Passeio</b>	<b>Coletivo</b>	<b>Caminhão</b>			
			<b>Leve</b>	<b>Médio</b>	<b>Pesado</b>	
<b>1983</b>	103	3	74	57	29	291
<b>1984</b>	116	3	83	64	33	327
<b>1985</b>	130	4	94	72	37	369
<b>1986</b>	147	4	105	81	41	414
<b>1987</b>	165	5	119	91	46	466
<b>1988</b>	186	5	133	103	52	524
<b>1989</b>	209	6	150	116	59	591
<b>1990</b>	235	7	169	130	66	664
<b>1991</b>	264	8	190	146	74	746
<b>1992</b>	297	9	214	164	84	840
<b>1993</b>	334	10	240	185	94	944
<b>1994</b>	376	11	270	208	106	1062
<b>1995</b>	423	12	304	234	222	1195

### **3.2.3. CAPACIDADE DA RODOVIA**

O estudo de capacidade do trecho foi elaborado segundo o método do Highway Capacity (Manual – HCM), com base nos dados obtidos pelos estudos de tráfego realizados.

A capacidade da rodovia é dada em função da composição percentual do tráfego, aplicando fatores de correção para ônibus e caminhões, adotando-se a hora de projeto como 12,5% do VDM (Volume Diário Médio de tráfego), situação característica de rodovias rurais, tem-se a relação: volume de tráfego sobre a capacidade, para tais valores, correspondem os níveis de serviço “Nível B” para o ano de abertura e “Nível C” para o final da vida útil (ver Tabela 4).

### 3.2.4. ESTUDOS GEOLÓGICOS

- Sinopse da Geologia Regional

As unidades litoestratigráficas de interesse para a diretriz da rodovia são a seguir sumarizadas:

1) Complexo Rio Apa: É constituído por rochas cristalinas pertencentes ao pré-cambriano inferior e médio, que compõe o escudo cristalino, sendo portanto as rochas mais ocorrentes na área.

Seus principais tipos litológicos são os granitos, granodioritos, gnaisses gramífticos, xistos diques de quartzo-diorito e quartzo-gabro. Ocorrem no extremo noroeste da área, nas proximidades da Morraria de Albuquerque.

2) Grupo Corumbá: É constituído de rochas calcárias e dolomíticas, do pré-cambriano superior, que ocorrem na porção noroeste do estado de Mato Grosso do Sul, cujos primeiros afloramentos dessas rochas foram os observados nas margens do Rio Paraguai, nas regiões de Corumbá Albuquerque e de Coimbra. O grupo é constituído pelas formações Puga, Cerradinho, Bocaína e Tamego, entretanto na área em estudo são observadas apenas as formações Cerradinho e Bocaína.

a - *Formação Cerradinho*: Apresenta como principal característica a heterogeneidade litológica, assinalada por uma alternância de arenitos, siltitos, folhelos, margas, calcários e dolomitos. Os calcários são em sua maioria de coloração cinza-escuro e negra, superfície lisa, ao contrário dos dolomitos, que tem superfície geralmente rugosa. Ocorre no extremo sudeste da área.

b - *Formação Bocaína*: Constituída por rochas carbonatadas, sendo os principais tipos litológicos os calcários dolomíticos e dolomitos localmente silicificados, com colorações cinza e esbranquiçada, que se sobressaem



muitas vezes, por sua maior resistência à erosão, como morros residuais, na planície pantaneira. Ocorre a leste e no Extremo sudeste da área.

*c - Formação Pantanal:* Sob esta denominação tem sido descrito os depósitos sedimentares de idade pleistoceno, que ocorrem na depressão do Rio Paraguai e nas planícies e pantanais matogrossenses. Constitui-se de uma seqüência argilo-arenosa, inconsolidada, estratificada horizontalmente, formada de uma alternância de argilas cinza e areia média e fina, de cor branca, amarela e vermelha. Na sua porção superior, são encontrados leitos laterizados, de pequena espessura de areis e conglomerados finos. Esses depósitos de origem fluvial e lacustre, estão sujeitos à inundações periódicas ou ocasionais, tem uma topografia plana, e cotas altimétricas variando entre 50m e 80m aproximadamente. A diretriz da rodovia está projetada sobre esses sedimentos.

*d - Aluviões Atuais:* São os depósitos atuais que se encontram ainda em fase de deposição, nas calhas e planícies aluvionares da complexa rede de drenagem da bacia do alto Paraguai, esses depósitos são identificados claramente tanto por foto interpretação, como em campo, por suas formas típicas, tais como: ilhas fluviais, diques marginais, meandros, lagos de meandros em colmatagem, meandros abandonados colmatados e barras de pontal. Essas estruturas podem ser observadas na área, principalmente nos rios Paraguai e Miranda.

- Sinopse da Geologia Local

O trecho Miranda - Morro do Azeite, tem o seu traçado sobre os sedimentos Pleistoceno da Formação Pantanal. Esses sedimentos estão associados a áreas planas, inundáveis, com coberturas arenosas, classificadas como úmidas, segundo seu grau de umidade.

A cobertura arenosa é constituída por areias finas e médias de cor branca, amarela e vermelha, com argila cinza.

As altimetrias variam de 80m a 50m e tem declividade inexpressiva, cujo gradiente topográfico oscila de 0,3 a 0,5m/Km no sentido leste-oeste, que é o sentido do traçado da rodovia; e de 0,03 a 0,15m/Km no sentido norte-sul.

Este fato provoca, em princípio, um barramento do escoamento do rio Paraguai e o conseqüente alagamento da área. Entretanto, para as cheias de porte-médio, tanto o rio Paraguai, como o rio Miranda, permitem o escoamento no seu próprio leito, embora nas grandes cheias haja inundação parcial ou total das zonas marginais.

Os *Aluviões Atuais* estão circunscritos principalmente à calha do rio Paraguai e Miranda, e áreas contíguas de transbordamento e inundação.

Do ponto de vista geomorfológico, a rodovia está totalmente locada sobre a unidade geomorfológica “Pantanal do Miranda - Aquidauana”, caracterizado na área em estudo por apresentar uma série de meandros, alguns colmatados, até atingir o rio Paraguai.

O Morro do Azeite, no final do trecho, constitui um pequeno morro residual, testemunho de erosão, associado às rochas da formação Bocaína.

### **3.2.5. ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

A área de interesse localiza-se na extensa planície do Rio Paraguai, denominada “Bacia do Alto Paraguai” ou “Pantanal Matogrossense”, encontra-se entre 14° e 22°S e entre 53° e 61°W e seus limites ocidentais estão na Bolívia e Paraguai. A parte principal da área é o Pantanal, extensa planície que se inclina suavemente para o Paraguai.

A leste a bacia é limitada pelas montanhas Maracajú, Caiapó e Saudade, e pela bacia sul do Rio das Mortes; ao norte pela serra de Parecis e pela parte oeste da Serra Azul, enquanto que os limites ocidentais são formados em parte pelas Serras de Santa Bárbara, do Aguapeí, das salinas, de Sunsas e de Santiago.

A extensa planície, que se inclina suavemente para o Paraguai, periodicamente encontra-se submersa sob as águas que saem das calhas dos rios mais importantes e perenes; Rio Paraguai, Rio Miranda, Rio Aquidauana, Rio Taquari, Rio Juru, Rio Cabaçal, Rio Sepotuba e Rio Cuiabá. Outros afluentes menos importantes, mas com margens e canais, claramente definidos, como Rio Negro, Rio Negrinho, Rio Abrobal, Rio Aquidabã, Rio Branco, Rio Tereré e Rio Amonguejá.

O nível das águas nos rios principais, determina o número de depressões e canais que se tornam ativos e espalham água por toda parte sobre as planícies inundadas.

A drenagem no pantanal é feita por córregos, corixões, vazantes e bacias. A diferença de nível local entre os pontos da baixada acima do nível de enchente e o fundo de uma vazante, ou bacia, raramente excedem 4m.

Qualquer modelo matemático usual não deve ser aplicado, uma vez ser muito difícil a identificação de bacias, definida para os cursos com margens não bem definidas.

Para o mapeamento dos cursos da região dispôs-se de fotografia aérea na escala 1:60.000, confeccionadas pela Diretoria do Serviço Geográfico, do Ministério do Exército, no período de 1965 a 1967 e um mapa na escala 1:100.000, que compreende uma faixa de 5Km de largura, ao longo do Rio Paraguai, de Cáceres a Corumbá.

As terras baixas podem ser divididas nas seguintes regiões, com base na freqüência e extensão das inundações:

1. *Pantanal ou brejo*, com drenagem permanentemente impedida, subdividido em lagoas extensas, pantanal alimentado por rios maiores ou menores, e pequenas lagoas conectadas ou não por canais temporários;

2. *Áreas intermitentemente inundadas*, subdivididas em áreas inundadas pelos rios maiores ou menores e áreas inundadas pelas precipitações, onde uma rede de drenagem é inadequada.

Pantanal ou áreas brejosas são largamente cobertas por pequenas lagoas, por velhos meandros ou por antigos leitos de rios, parcial ou completamente cobertos por vegetação (“aguapé” ou “capim de praia”). As lagoas e os meandros abandonados tem geralmente água permanente com pouca profundidade e vegetação crescendo na água, enraizada no fundo ou flutuando na superfície. A água pode fluir de uma lagoa para outra durante as enchentes.

Durante os períodos de baixas descargas, as lagoas e meandros parecem independentes, mas algumas vezes canais abandonados, recobertos de grama, auxiliados pela permeabilidade do solo, mantém a conexão.

A água escoava muito lentamente, cerca de 1 a 5cm/s nesses canais, devido à baixa declividade e à resistência oposta pela vegetação; em consequência há um longo intervalo de tempo para enchimento ou esvaziamento nas ocasiões de alta ou baixa vazão do Rio Paraguai e seus tributários.

Durante as enchentes o nível de água pode remover os obstáculos criados pela vegetação e a velocidade de escoamento pode então aumentar subitamente nos canais maiores.

A vegetação que cobre a água apresenta no pantanal, a peculiaridade de que só pequenas superfícies de lagoas ficam visíveis, enquanto que a maior parte da área da lagoa fica oculta sob a vegetação.

Quase todas as grandes lagoas da bacia do alto Paraguai (Uberaba, Mandioré e Chacororé) são cobertas principalmente por vegetação, podendo assim ser consideradas mais como pantanal do que lagoas.

Afora as grandes lagoas, há quatro tipos de pantanal. Primeiramente há as lagoas muito extensas mas rasas, que desaparecem em poucos meses pela

descida do nível de água e pelo crescimento da vegetação que se desenvolve na água.

Dependendo do aumento do nível da água na lagoa, a vegetação ou mantém seu sistema de raízes, continuando a crescer e tornando verde a superfície da lagoa, ou morre e apodrece flutuando na superfície. Mais tarde baixa até o fundo onde se encontra uma grossa camada de material orgânico em decomposição; é possível encontrar-se uma camada fluída debaixo do fundo aparentemente sólido de uma lagoa.

Em segundo há áreas de pantanal tais como meandros abandonados e antigos leitos de rio, que são alimentados em cada ano pelas inundações dos rios principais; nestas áreas, que parecem ser pequenas lagoas, formam-se na parte mais profunda dos meandros abandonados. A vegetação dessas áreas é formada por densas florestas próximas do leito ativo do rio e mais longe, na sua maior parte, por grama.

Em terceiro lugar há áreas de pantanal, particularmente próximas das montanhas, inundadas por pequenos rios e córregos. Como a extensão da inundação varia de um ano para o outro, o termo pantanal é empregado somente para a parte que não seca antes do começo das chuvas do ano seguinte; a outra parte com superfície de água intermitente, é chamada de “vazante”.

Por fim outras áreas extensas e desconexas do pantanal, compreendem pequenas lagoas ligadas ou não por “vazantes”, que atuam como linhas de drenagem quando o nível de água da lagoa excede uma certa elevação. As lagoas são alimentadas pelas precipitações, pela água do subsolo e pelas vazantes que, em anos chuvosos pode atingir a 50% ou mais. A área não ocupada por lagoa é coberta por árvores e grama, e usada para a criação de gado.

Os primeiros dois tipos de pantanal, lagoas extensas e áreas inundadas por grandes rios, não passam de alguns milhares de quilômetros quadrados. Os

dois outros tipos correspondem à cerca de 10.000Km<sup>2</sup>. O resto das terras baixas da bacia do alto Paraguai (168.000 Km<sup>2</sup> em território brasileiro) é bastante diferente conquanto o termo “Pantanal” (com maiúscula) apareça em mapas para descrever toda a região, embora, não no sentido técnico de *pântano* ou *brejo*.

As áreas intermitentemente inundadas podem ser inundadas por alguns meses todos os anos, ou por muitos meses durante poucos anos.

A altura das inundações anuais dos rios importantes, determina o número de depressões e canais que se tornam ativos e espalham a água por toda a parte sobre as planícies inundadas. Uma parte da água volta aos rios quando a cheia decresce, seja por canais, seja através do solo; alguma água pode alcançar uma vazante ou “corixo”, e através deste, nos anos chuvosos, o mesmo rio de onde saiu, ou outro.

Uma “vazante” é uma linha de uma área raramente inundada, para um pantanal ou para um rio a jusante; ela é uma faixa de alguns quilômetros de largura, de moderada declividade na direção longitudinal, mas sem um canal bem desenvolvido. Se em alguns anos uma vazante tem muito pouca água na superfície ela poderá entretanto ter água a certa profundidade; a vegetação no fundo da vazante é geralmente grama verde. Quando a “vazante” tem uma seção transversal bem definida em longa extensão, ela é chamada de “corixão” ou “corixo”.

Os pequenos rios e córregos raramente alcançam os rios principais se estes estão além de uma área de baixada; em lugar disso, eles se espraiam na planície e podem formar uma área de pantanal e continuar como uma “vazante”.

Toda baixada tem uma drenagem precária; as “vazantes” e “corixões” funcionam como linhas de drenagem das precipitações na área. Não obstante, há algumas zonas onde as vazantes são tão indefinidas, que chuva se evapora

e se infiltra no lugar onde cai. Daí estas áreas serem efetivamente pequenas bacias fechadas.

Usando dados para os três anos hidrológicos 1968/69, 1969/70 e 1970/71, com base em informações disponíveis e levantamentos de reconhecimento, foi preparado um modelo matemático para simular o comportamento do sistema hidrográfico do Alto Paraguai, incluindo o Pantanal, a fim de desenvolver um sistema de previsão de enchentes.

O modelo escolhido é basicamente o SSARR (“Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation”), que foi utilizado com sucesso nas bacias dos Rios Columbia e Mekong. Os dados de entrada para o modelo são as efluentes das cabeceiras. As descargas são propagadas através de incrementos sucessivos de acumulações; tipo reservatório, e as descargas efluentes são assim simuladas em pontos escolhidos.

Os trechos do rio foram divididos em dois componentes: canal e margem inundável. A propagação é realizada separadamente e adicionada em pontos de confluência.

Como o modelo matemático proposto estava ainda em testes, na fase de implantação, procurou-se nortear a definição das obras de arte especiais, na informação de antigos moradores da região pantaneira, nos níveis máximos de enchentes observados, através de sucessivas visitas de técnicos do Dersul, na região em estudo.

Assim as pontes no projeto, denominadas “PV” (Ponte de Vazante), tiveram sua extensão e altura determinados essencialmente por aspectos mais práticos do que baseados no modelo matemático supracitado.

Os seguintes números são indicativos de clima na região:

- a umidade relativa média mensal vai de 60 a 80% durante o ano (às 07:00 horas, esta média vai de 70 a 90%);

- a temperatura média mensal de cerca de 30°C durante o ano, nas terras baixas do norte, e, de 28°C, nas terras baixas do sul;
- a precipitação anual média vai de 800 a 1.400 mm nas baixadas e 1.400 a 1.700 mm nas montanhas;
- a evaporação média anual (Piche) vai de 800 a 1.400 mm no norte e de 1.000 a 1.400 mm no sul;
- a radiação solar média anual esta em torno de 460 cal/cm<sup>2</sup> por dia nas terras baixas;
- os ventos são geralmente fracos nas baixadas, exceto durante as tempestades. No planalto, o vento é usualmente moderado, exceto quando a morfologia do vale favorece a formação de brisas de vale;
- o clima na região é do tipo quente, úmido tropical, com 3 (três) meses secos;
- as precipitações máximas ocorrem no trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro;
- o número (médio, máximo) de dias de chuvas no mês conforme dados históricos levantados no período de 1925-1964, janeiro(14,23), fevereiro(13,21), março(12,17), abril(8,13), maio(5,14), junho(4,9), julho(3,9), agosto(3,8), setembro(5,12), outubro(8,15), novembro(9,14) e dezembro(12,22).

Fonte: "Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai", (1967-1972) Departamento Nacional de Obras de Saneamento/DNOS.

### **3.2.6. ESTUDOS GEOTÉCNICOS**

A região atravessada pela rodovia situa-se no planalto dos Alcantilados, representada pelos sedimentos arenosos carboníferos da *formação Pantanal*, caminhando predominantemente no sentido Leste-Oeste.

Os estudos geotécnicos tiveram por objetivo a identificação e a determinação das características dos materiais constituintes do sub-leito da rodovia, da



fundação dos aterros e daqueles a serem utilizados na terraplanagem e na pavimentação, como caixas de empréstimos, jazidas e pedreiras.

Em todas as fases dos estudos geotécnicos a metodologia utilizada foi a estabelecida no Manual de Pavimentação e Manual de Ensaio do DNER, associados às recomendações constantes no 2º Manual de Rodovias Vicinais, BIRD, DNER, BNDE.

- Estudo do Sub-leito

Foram efetuadas sondagens no sub-leito a cada 400 metros, com a coleta de amostras para ensaios de caracterização e compactação; em cada 2Km foram coletadas amostras para ensaios de Índice de Suporte Califórnia; as profundidades das sondagens foram estabelecidas em função do greide de projeto.

- Ocorrência de materiais:

1. Caixas de Empréstimo: foram localizadas lateralmente à estrada, fora da faixa de domínio, predominando solos A-2-4 e A-6 (ver Tabela 6).

<b>TABELA 6</b>											
<b>Classificação dos solos: American Association of State Highway Officials(AASHO)</b>											
<b>Classificação geral</b>	<b>Materiais Granulares (35% ou menos passando na # N° 200)</b>							<b>Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na # N° 200)</b>			
	<b>A-1</b>		<b>A-3</b>	<b>A-2</b>				<b>A-4</b>	<b>A-5</b>	<b>A-6</b>	<b>A-7</b>
<b>GRUPO</b>	<b>A-1-a</b>	<b>A-1-b</b>		<b>A-2-4</b>	<b>A-2-5</b>	<b>A-2-6</b>	<b>A-2-7</b>				<b>A-7-5 A-7-6</b>
<b>Peneiração: % que passa na # N° 10 N° 40 N° 200</b>	50 máx 30 máx 15 máx	50 máx 25 máx	51 máx 10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
<b>Características da fração que passa na # n°40: Limite de Liquidez-LL-(%) Índice de Plasticidade-IP-(%)</b>	6 máx		NP	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín
<b>Índice de Grupo (IG)</b>	0		0	0		4 máx		8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
<b>Materiais que predominam</b>	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e Areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos	
<b>Comportamento geral como sub-leito</b>	Excelente a bom							Fracos a pobre			

2. Jazidas para Base: Foram pesquisadas jazidas *de seixo arenoso com laterita*, que de acordo com suas características foram indicadas para suprirem a camada de base para o revestimento.
3. Materiais a serem empregados na regularização do Sub-base: É muito comum na região, a ocorrência de *calcários* à profundidades de 1,5 a 2,0 metros abaixo do terreno natural. Devido ao bom desempenho deste material conforme os resultados de algumas jazidas pesquisadas, optou-se pela utilização do mesmo na sub-base.
4. Materiais a serem empregados no reforço do Sub-leito: Para suprir a necessidade de adequação da capacidade de suporte do Sub-leito, quando necessário, recomendou-se a utilização do mesmo material utilizado para Sub-base.

### 3.3. PROJETOS

#### 3.3.1. PROJETO GEOMÉTRICO

Os estudos topográficos, aliados aos estudos hidrológicos e geotécnicos, forneceram os dados básicos para a elaboração do Projeto Geométrico.

Procurou-se adaptar, tanto quanto possível, o greide de projeto às condições hidrológicas do local, este propósito prejudicou a economicidade da obra, provocando elevados volumes de terraplanagem.

As características geotécnicas das seções transversais tipo, ficaram então definidas, conforme a Tabela 7.

TABELA 7	
Seções Transversais Tipo	
Camada	Material
Base	Estabilizada Granulométricamente/Seixo
Sub-base	Calcáreo

### **3.3.2. PROJETO DE TERRAPLENAGEM**

Com base nos elementos fornecidos pelos estudos topográficos, projeto geométrico e estudos geotécnicos, procedeu-se o projeto de terraplenagem.

Quando do projeto geométrico, procurou-se adaptar o greide de projeto à orografia da região, evitando-se uma terraplenagem avolumada, o que foi favorecido, devido às características topográficas da região, foram elaboradas notas de serviço do corpo estradal e cubação dos volumes de terra a serem movimentados, verificando-se a necessidade de caixas de empréstimo para suprir a necessidade de volumes nos aterros a serem executados.

Para tanto foram apresentados Tabelas de orientação de terraplenagem indicando origens e destinos dos materiais a serem escavados e suas respectivas distâncias médias de transporte, bem como o cálculo de volumes de corte, aterro e remoção.

### **3.3.3. PROJETO DE DRENAGEM**

A análise do material disponível para a região do projeto, o conhecimento da problemática do Pantanal e principalmente o reconhecimento *in-loco* da área, permitiu uma reavaliação da seqüência metodológica convencional, objetivando uma melhor adequação para a avaliação dos principais parâmetros do projeto de drenagem.

Realmente a área do projeto, como em grande parte do Pantanal, revela características próprias, que as distinguem de outras áreas. A fixação de uma metodologia convencional, fatalmente não estaria compatível com a realidade da região em estudo.

Assim, a fixação de métodos ou processos para determinação das cargas máximas prováveis, não deve ser definida em termos específicos do estudo

detalhado da bacia hidrográfica. A formação de enchentes tem características distintas, de acordo com a área que está sendo analisada.

Foram projetadas diversas obras de arte especiais, Pontes de Vazantes (PV), como solução que melhor se identificava com a área do Pantanal, em termos hidrológicos.

Para todas as pontes, foi adotada uma superestrutura composta por duas vigas principais interligadas por transversinas não solidarizadas à laje superior.

Tais vigas possuem extremidades em balanço, o que permitiu a eliminação dos encontros, com conseqüente economia no custo de construção. As vigas são suportadas por pares de pilares interligados e articulados no topo.

Em todas as obras foi dada preferência ao uso de articulações de concreto do tipo Freyssinet, dada grande durabilidade e facilidade de execução das mesmas.

#### **3.3.4. PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO**

O projeto de pavimentação baseou-se no método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER.

O número equivalente de operações do eixo padrão durante o período de projeto foi determinado considerando o tráfego em um sentido, de caminhões e ônibus num período de 10 anos.

No que concerne ao suporte do sub-leito, foram realizados ao longo do trecho, ensaios de capacidade de suporte do sub-leito CBR (Califórnia Bearing Ratio), tendo em vista o método de dimensionamento.

De posse destes parâmetros supracitados, pode-se dimensionar o pavimento.

Cálculo do número "N".

Para o cálculo do número "N" (Número de repetições do eixo padrão de 8,2 t), adotou-se a seguinte fórmula:

$$N = 365 \times P \times V_m \times FV \times FR$$

Onde: 365 é o número de dias contido em um ano;

"P" é o período de projeto (10 anos);

"V<sub>m</sub>" é o volume médio diário de tráfego de veículos, num sentido, durante o período do projeto, na faixa mais solicitada.

"FV" é o fator de veículo, representando o número de solicitações de eixo padrão de 8,2t, equivalente à passagem de um veículo;

"FR" é o fator climático regional, em função da pluviosidade local.

### 3.3.4.1. VOLUME MÉDIO DIÁRIO (V<sub>m</sub>)

Determinou-se com base os estudos de tráfego realizados, e apresentado conforme resumo dos resultados na Tabela 8.

<b>TABELA 8</b>		
<b>Volume Médio Diário - V<sub>m</sub></b>		
<b>Ano</b>	<b>Tipo</b>	
	<b>Ônibus</b>	<b>Caminhões</b>
<b>Abertura/1985</b>	4	235
<b>Vida útil de projeto/1995</b>	12	760

### 3.3.4.2. FATOR DE VEÍCULO (FV)

#### 3.3.4.2.1. FATOR DE EQUIVALÊNCIA(FE)

$$FE = (TMD\%)^{\text{Leves} * n_{\text{eixos}}} + (TMD\%)^{\text{Médios} * n_{\text{eixos}}} + (TMD\%)^{\text{Pesado} * n_{\text{eixos}}}$$

$FE = (26,5\%)*1 + (19,5\%)*2 + (18,7\%)*3$ ; conforme a Tabela 9.

$FE = 1,216$

<b>TABELA 9</b>												
<b>Ano</b>	<b>TMD Por categoria de serviço</b>										<b>Total</b>	
	<b>Passeio</b>		<b>Coletivo</b>		<b>Caminhão</b>							
					<b>Leve</b>		<b>Médio</b>		<b>Pesado</b>		<b>n</b>	<b>%</b>
<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	
<b>1985</b>	130	35,0	4	1,0	94	26,5	72	19,5	69	18,7	369	100
<b>1995</b>	423	35,0	12	1,0	304	<b>26,5</b>	234	<b>19,5</b>	222	<b>18,7</b>	1195	100

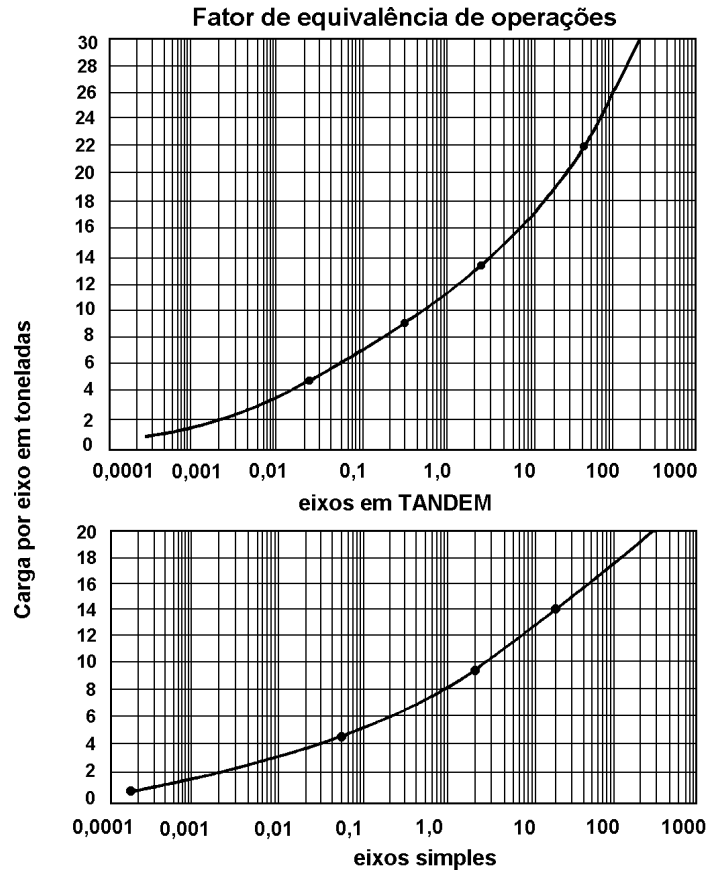
### 3.3.4.2.2. FATOR DE CARGA (FC)

$FC = 0,2451$ ; conforme a Tabela 10 e a Figura 17.

$FV = (FE) * (FC) = 1,216 * 0,2451$

$FV = 0,298$

<b>TABELA 10</b>									
<b>Fator de Carga - FC</b>									
<b>Classe de veículo</b>	<b>Modelo representativo</b>	<b>Cargas</b>			<b>Fator de equivalência</b>			<b>FC</b>	
		<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>		
<b>Caminhão Médio</b>	CM 2 - 6120	2,3	6,5	-	0,008	0,450	-	0,46	
<b>Caminhão Pesado</b>	3 C	3,1	15,1	-	0,020	4,000	-	4,02	
<b>Semi - Reboque</b>	2 S 3	3,8	10,1	23,6	0,030	3,500	16,5	20,03	
							<b>100*FC =</b>		<b>24,51</b>
							<b>FC = 0,2451</b>		



### 3.3.4.3. FATOR CLIMÁTICO REGIONAL (FR)

Conforme recomendado pelo DNER, (ver Tabela 11), com base em dados históricos (1967-1972) de precipitação pluviométrica para a região obtida pelo DNOS, através de "Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai"; foi determinado  $FR = 1,4$ .

<b>TABELA 11</b>	
<b>Fator Climático Regional - FR</b>	
<b>Altura média anual de chuva (mm)</b>	<b>FR</b>
<b>Até 800</b>	0,7
<b>De 800 a 1.500</b>	1,4
<b>Mais de 1.500</b>	1,8

Valores recomendados pelo DNER

Portanto para o ano de abertura (1985) (ver Tabela 8).

$$N = 365 * 10 * 235 * 0,298 * 1,4$$

$$N = 3,5 \times 10^5$$

Para o final da vida útil do projeto (1995) (ver Tabela 8).

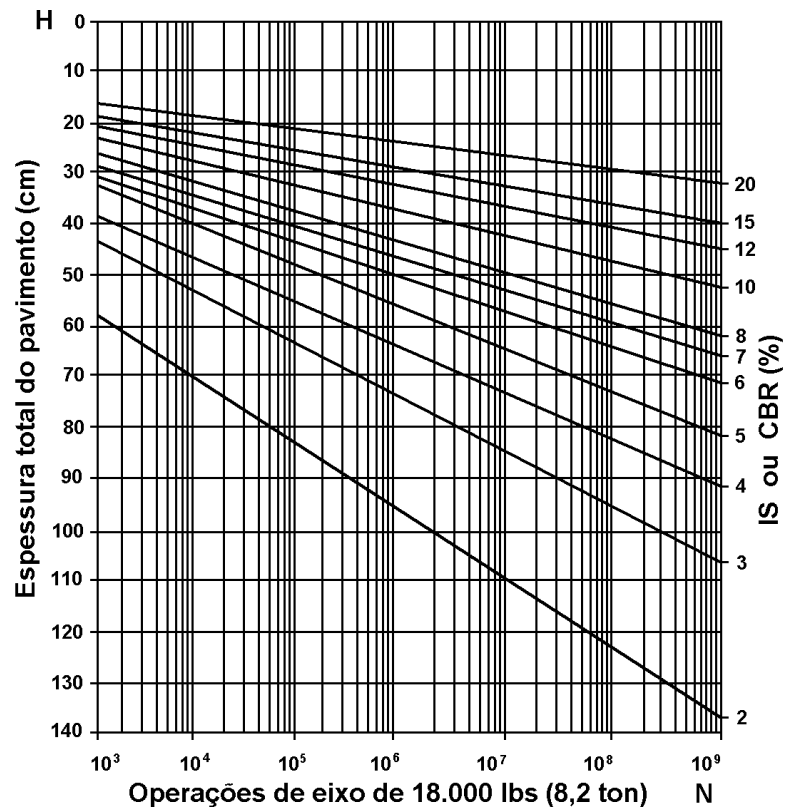
$$N = 365 * 10 * 760 * 0,298 * 1,4$$

$$N = 1,1 \times 10^6$$

#### **3.3.4.4. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL**

Determinação da espessura equivalente: Com os índices de suporte de projeto, calculados estatisticamente e apresentados nos "Estudos Geotécnicos" e com os valores do número de operações do eixo-padrão de 8,2t (N) acima calculado, determinou-se a espessura total equivalente do pavimento através do gráfico de dimensionamento (ver Figura 18), do "Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis" do DNER, como segue:





**FIGURA 18**

Com  $N_{1995} = 1,1 \times 10^6$ ;

e  $IS_{proj} = 9,8\%$ , na Figura 18, tem-se que:

$E_{q\ total} = 40$  cm (espessura equivalente).

Espessura das Camadas do Pavimento.

a - Sub-base.

A Sub-Base deste trecho será executada com calcário, considerando o índice de suporte igual a 20%, resultando pela metodologia:

Com  $N_{1995} = 1,1 \times 10^6$ ;

e  $IS_{proj} = 20\%$ , na Figura 18, tem-se que:

$E_{q\text{ SB}} = 24 \text{ cm}$  (espessura equivalente).

$$E_{\text{SB}} = E_{q\text{ total}} - E_{q\text{ SB}}$$

$E_{\text{SB}} = 40 - 24 = 16 \text{ cm}$ , equivalentes.

Determinação do *coeficiente de equivalência estrutural* do material da sub-base:

$IS_{\text{SB}} = 20\%$ ;  $IS_{\text{SL}} = 9,8\%$ ; portanto  $K_{\text{SB}} = 0,77$ , (ver Tabela 12).

<b>TABELA 12</b>	
<b>Coeficientes de equivalência estrutural</b>	
<b>Componentes dos pavimentos</b>	<b>Coeficiente <i>k</i></b>
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,77
Reforço do sub-leito	0,71
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, > 4,5Mpa	1,70
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 3,5Mpa e ,5Mpa	1,40
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, < 3,5Mpa	1,00

Determinação da espessura real da sub-base:

$$H_{\text{SB}} = \frac{16}{0,77} = 20,77 \text{ cm}$$

Em função dos argumentos abaixo relacionados, adotou-se como espessura mínima para a camada de sub-base, 20cm(HSB).

- Tolerância de  $\pm 3 \text{ cm}$  de variação das cotas de regularização do subleito;
- Tolerância de  $\pm 3 \text{ cm}$  de variação da espessura da camada de sub-base;
- Dificuldade de execução de camadas de material não coesivo com pequena espessura;

- Aumento da segurança com a execução de uma camada de característica homogênea de maior espessura ao longo do trecho.

b - Revestimento

Adotou-se para revestimento, um *Tratamento Superficial Duplo* (TSD), com *penetração invertida*, com 2,5cm de espessura( $H_R$ ); por revelar-se a solução mais econômica que atende ao tráfego da região;

c - Base

Será constituída de *seixo arenoso com laterita*, por apresentar as melhores condições de exploração e geotécnica.

Conforme a Tabela 12, tem-se:

Coeficiente  $k_R = 1,2$ ;

Coeficiente  $k_B = 1,0$

$$H_B = \frac{E_{qSB} - k_R * H_R}{B_B};$$

$$H_{qB} = \frac{24 - 1,2 * 2,5}{1} = 21,0cm; \text{ reais}$$

Adotou-se para o trecho todo, a espessura de 20cm de base (HB) (ver Tabela 13).

<b>TABELA 13</b>			
<b>Camadas do Pavimento</b>			
<b>Camada</b>	<b>ISC (%)</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Material</b>
<b>Revestimento</b>	-	2,5	Tratamento Superficial Duplo - TSD
<b>Base</b>	80	20,0	Estabilizada Granulométricamente/Seixo
<b>Sub-base</b>	20	20,0	Calcáreo
<b>Reforço</b>	9,8	20,0	Calcáreo
<b>Sub-Leito</b>	4	-	

Os dados contidos nas tabelas:

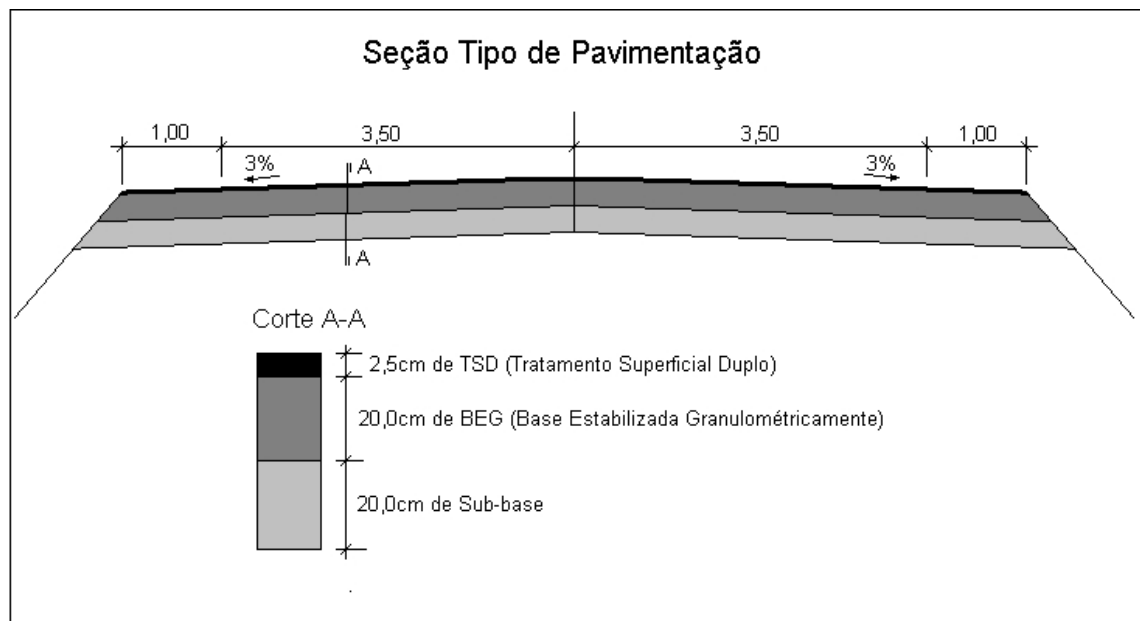
- Tabela 13;
- Tabela 14;

<b>TABELA 14</b>	
<b>Seções Transversais Tipo</b>	
Plataforma de aterro	10,60m
Declividade transversal da plataforma	3%
Talude de aterro (V:H)	2:3
Faixa de domínio	70m

- Tabela 15, e ainda a;

<b>TABELA 15</b>							
<b>ISC %</b>	<b>Espessura</b>						
	<b>Total</b>	<b>Equivalente</b>			<b>Real</b>		
		Sub-base	Base	Revestimento	Sub-base	Base	Revestimento
		$E_{aSB}$	$E_{aB}$	$H_R$	HSB	HB	$H_R$
9,8	40	24	21	2,5	20	20	2,5

- Figura 19, sintetizam o dimensionamento do trecho estudado.



**FIGURA 19**

Os *acostamentos* terão como revestimento apenas uma imprimação sobre a base.

Quando da execução da obra, à metodologia aplicada pelo Dersul, no que diz respeito à necessidade de *reforço do sub-leito*, para os trechos que apresentaram Índice de Suporte do sub-leito inferior ao adotado no projeto (9,8%), recomendou-se a execução de uma camada com material selecionado na energia Proctor Intermediário (o mesmo da sub-base), com espessura de 40cm e CBR  $\geq$  20%.

### **3.4. ESTUDO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS**

#### **3.4.1. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RÍGIDO**

Em 1971, engenheiros do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado da Califórnia (EUA) divulgaram resultados de completo levantamento estatístico dos pavimentos construídos em diversos estados norte-americanos, mostrando que a *vida útil média* dos pavimentos de concreto considerados atingia os 27,2 anos <sup>(4,p.11)</sup>.

Para o Brasil, a Associação Brasileira de Cimento Portland, levando em consideração aspectos extrínsecos ao concreto, por exemplo, a dificuldade de se avaliar com precisão o crescimento do tráfego em períodos muito longos; recomenda a utilização de um período de projeto de, no mínimo 20 anos <sup>(4,p.11)</sup>.

O pavimento Rígido ou Pavimento de Concreto de Cimento Portland usualmente pode ser dimensionado por duas metodologias que são recomendadas pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP:

- da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) – EUA, 1993;
- da Portland Cement Association (PCA) – EUA, 1984; Baseado nos estudos teóricos de H. M. WESTERGAARD, G PICKETT e outros.

Ambos os métodos, levam também em consideração os resultados de ensaios em modelos em verdadeira grandeza realizados pelas próprias entidades, bem como pelo “Bureau of Public Roads (BPR)” e outras fontes de fundamentação.

Para o dimensionamento estrutural analisam-se basicamente 3 fatores:

1. as *propriedades do concreto*, onde são firmadas as exigências quanto ao módulo de ruptura à tração na flexão, a idade do concreto a ser considerada na avaliação do módulo de ruptura, o método de ensaio, o princípio da ruptura do concreto por *fadiga* e a relação entre o número de solicitações de cargas e a relação de tensões;
2. a *fundação do pavimento*, onde se trata do suporte do sub-leito e de sua determinação, da necessidade de sub-base, ante o fenômeno prejudicial de bombeamento (*erosão*) e à uniformização do suporte do sistema de fundação devido à presença da sub-base;
3. o *tráfego*, englobando o estudo das tensões causadas pelas cargas, da posição mais desfavorável destas em relação à placa de concreto, dos fatores de segurança, do período de projeto e da projeção do tráfego.

#### **3.4.1.1. PARÂMETROS DE CÁLCULO**

*Período de Projeto:* Conforme recomendado pela ABCP será de 20 anos.

*Tráfego:* Serão considerados os números acumulados de repetição dos vários tipos de eixos e cargas para a rodovia, projetados para o último ano do período do projeto; conforme:

- Fator de Segurança de Carga: Será igual 1,2; conforme recomendado pela ABCP, para rodovias com tráfego de grande volume de caminhões pesados.

- Tipos de eixos: Conforme a Tabela 16.

<b>TABELA 16</b>		
<b>Tipo de Eixo</b>	<b>Cargas (tf)</b>	
	<b>Carregado</b>	<b>Vazio</b>
<b>Simple (Roda Simple)</b>	6,0	3,0
<b>Simple (Roda Dupla)</b>	10,0	5,0
<b>Tandem Duplo (Roda Dupla)</b>	17,0	6,0
<b>Tandem Triplo (Roda Dupla)</b>	25,0	9,0

- Número Diário de Eixos e Cargas, considerou-se:
  1. Volume Médio Diário Unidirecional (50% de veículos comerciais por faixa);
    - TMD de veículos comerciais nas duas direções projetado para o ano de 2020 é 1607 veículos/dia (Ver Tabela 30).
    - Portanto TMD de veículos comerciais unidirecional projetado para o ano de 2020 é de  $(1607 \cdot 50\%) = 804$  veículos/dia.
  2. 75% de veículos comerciais (caminhões) com carga máxima legal;
  3. 25% de veículos comerciais sem carga (vazio).

Determinação da composição do tráfego unidirecional de veículos comerciais no último ano do período do projeto por classe de veículo, conforme a Tabela 17.

<b>TABELA 17</b>								
<b>Ano</b>	<b>TMD Unidirecional de Veículos Comerciais</b>							
	<b>Caminhão</b>							
	<b>Leve</b>	<b>%</b>	<b>Médio</b>	<b>%</b>	<b>Pesado</b>	<b>%</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
<b>1985</b>	47	40,0	36	30,8	34	29,2	117	100
<b>1995</b>	152	<b>40,0</b>	117	<b>30,8</b>	111	<b>29,2</b>	380	100
<b>2020</b>	<b>321</b>	40,0	<b>248</b>	30,8	<b>235</b>	29,2	<b>804</b>	100

Determinação do desdobramento, por tipo de eixo e carga, da composição do tráfego unidirecional de veículos comerciais no último ano do período do projeto por tipo de eixo e carga, conforme Tabela 18.

<b>TABELA 18</b>									
<b>Tráfego Médio Diário Unidirecional</b>									
<b>Tipo de veículo</b>		<b>Tipo de eixo e roda</b>				<b>Tipo de eixo e carga</b>			
<b>Caminhão</b>	<b>TDM</b>	<b>Eixo</b>	<b>Roda</b>	<b>%</b>	<b>TDM</b>	<b>Situação</b>	<b>Carga(t)</b>	<b>%</b>	<b>TDM</b>
<b>Leve</b>	321	Simples	Simples	50	161	Carregado	6,0	75	120
						Vazio	3,0	25	41
			Dupla	50	160	Carregado	10,0	75	120
						Vazio	5,0	25	40
<b>Médio</b>	248	Tandem Duplo	Dupla	100	248	Carregado	17,0	75	186
						Vazio	6,0	25	62
<b>Pesado</b>	235	Tandem Triplo	Dupla	100	235	Carregado	25,0	75	176
						Vazio	9,0	25	59

*Suporte da Fundação:* Adotou-se o mesmo valor do CBR do sub-leito utilizado para o projeto pavimento asfáltico existente, que foi igual a 9,8%.

*Características do Concreto de Cimento Portland:* será tal que corresponda às previsões de controle e desempenho que se exige no que se refere à trabalhabilidade, à impermeabilidade, à durabilidade e à resistência (Módulo de Elasticidade superior a 30.000 MPa), e deverá possuir uma “resistência característica de ruptura à tração na flexão ( $F_{ctM,k}$ ) de 5,0 MPa”, na idade de 28 dias, podendo-se prever a adição de fibras metálicas caso necessário.

*Características do Acostamento:* Será considerado “com acostamento de concreto”, com mesma espessura da pista de rolamento.

*Características da Armadura:* para as juntas longitudinais, com a finalidade de manter as faixas de tráfego livres de possíveis movimentos laterais e assegurar que unidas, possibilitem a transferência de carga, será prevista a utilização de “Barras Transversais” ou barras de ligação.

- As bitolas, os comprimentos e espaçamentos dessas barras são fornecidos no Estudo Técnico n. 13 – “Projeto de juntas em Pavimentos Rodoviários de Concreto” da ABCP.



- Aço: CA-25;
- Diâmetro: 20 mm;
- Comprimento: 46 cm;
- Espaçamento: 30 cm.

*Coefficiente de Recalque (K) do Sistema Sub-leito/Sub-base:* Quando não obtido por meio de prova de carga estática, pode ser obtido por correlação com o valor do CBR do sub-leito; considerando que para pavimento asfáltico existente;

- CBR do sub-leito, é igual a 9,8%;
- e que a sub-base “granular” tem a espessura de 20 cm de projeto, e quando da execução da obra, o sub-leito recebeu uma camada de reforço de 40 cm de espessura com o mesmo material da sub-base e  $CBR \geq 20\%$ ., considerou-se como 30 cm a espessura média real da sub-base;
- Com CBR igual a 10% e espessura da sub-base igual a 30 cm; obtêm-se um “k” do sistema igual a 80 MPa/m (Ver Tabela 19).

<b>TABELA 19</b>					
<b>Aumento de k devido à presença de sub-base granular</b>					
<b>Valor de suporte do subleito</b>		<b>Coefficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a (cm)</b>			
<b>CBR (%)</b>	<b>k (MPa/m)</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
<b>10</b>	49	54	58	65	<b>79</b>
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	72	79	96

Fonte: DNER. Manual de *Whitetopping*. Brasil, 2000. 1 CD-ROM.

*Fator de Fadiga e Fator de Erosão:*

- Com um *espessura da placa* estimada em 17 cm;
- e o valor do “k” do sistema igual a 80 MPa/m;
- e com *acostamento de concreto*;
- e com barras transversais; obtêm-se;

a) na Tabela 20;  $k_{ES} = 1,66$  e  $k_{ETD} = 1,39$ ;

<b>TABELA 20</b>														
<b>Tensão Equivalente para Eixos Simples (ES) e Tandem Duplos (ETD)</b>														
<b>(pavimento com acostamento de concreto)</b>														
Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de Recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		200	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,36	2,82	2,95	2,46	2,74	2,31	2,60	2,22	2,49	2,16	2,31	2,08	2,19	2,04
13	3,02	2,56	2,66	2,22	2,47	2,08	2,34	1,99	2,25	1,94	2,09	1,86	1,99	1,81
14	2,74	2,34	2,41	2,02	2,24	1,89	2,13	1,80	2,05	1,75	1,91	1,67	1,82	1,62
15	2,50	2,15	2,20	1,85	2,05	1,72	1,95	1,64	1,88	1,59	1,75	1,51	1,67	1,46
16	2,29	1,99	2,02	1,71	1,88	1,58	1,80	1,51	1,75	1,46	1,61	1,38	1,55	1,33
<b>17</b>	2,11	1,85	1,86	1,58	1,74	1,46	<b>1,66</b>	<b>1,39</b>	1,60	1,34	1,49	1,26	1,43	1,21
18	1,96	1,72	1,73	1,47	1,61	1,35	1,54	1,29	1,48	1,24	1,39	1,16	1,33	1,12
19	1,82	1,62	1,61	1,38	1,50	1,27	1,43	1,20	1,38	1,16	1,29	1,08	1,24	1,04
20	1,70	1,52	1,50	1,29	1,40	1,19	1,34	1,13	1,29	1,08	1,21	1,01	1,16	0,97
21	1,59	1,41	1,40	1,22	1,31	1,12	1,26	1,06	1,21	1,02	1,13	0,95	1,09	0,91
22	1,49	1,36	1,32	1,15	1,23	1,06	1,18	1,00	1,14	0,96	1,07	0,89	1,02	0,86
23	1,40	1,29	1,24	1,09	1,16	1,00	1,11	0,95	1,07	0,91	1,01	0,84	0,97	0,81
24	1,32	1,23	1,17	1,04	1,10	0,95	1,05	0,90	1,01	0,86	0,95	0,80	0,91	0,76
25	1,25	1,18	1,11	0,99	1,04	0,91	0,99	0,85	0,96	0,82	0,90	0,76	0,87	0,73
26	1,19	1,12	1,05	0,95	0,98	0,87	0,94	0,81	0,91	0,78	0,86	0,72	0,82	0,69
27	1,13	1,08	1,00	0,91	0,93	0,83	0,89	0,78	0,86	0,84	0,81	0,69	0,78	0,66
28	1,07	1,03	0,95	0,87	0,89	0,79	0,85	0,74	0,82	0,71	0,78	0,66	0,75	0,63
29	1,02	0,99	0,91	0,84	0,85	0,76	0,81	0,71	0,78	0,68	0,74	0,63	0,71	0,60
30	0,98	0,95	0,87	0,81	0,81	0,73	0,77	0,69	0,75	0,66	0,71	0,61	0,68	0,58
31	0,93	0,92	0,83	0,78	0,77	0,71	0,74	0,66	0,72	0,63	0,68	0,58	0,65	0,55
32	0,90	0,89	0,79	0,75	0,74	0,68	0,71	0,64	0,69	0,61	0,65	0,56	0,62	0,53
33	0,86	0,86	0,76	0,72	0,71	0,66	0,68	0,61	0,66	0,59	0,62	0,54	0,60	0,51
34	0,83	0,83	0,73	0,70	0,69	0,63	0,66	0,59	0,63	0,57	0,60	0,52	0,57	0,49

Fonte: DNER. Manual de *Whitotopping*. Brasil, 2000. 1 CD-ROM.

b) na Tabela 21;  $k_{ETT} = 1,10$ ;

<b>TABELA 21</b>						
<b>Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (ETT)</b> <b>(pavimento com acostamento de concreto)</b>						
Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de Recalque (MPa/m)					
	20	40	60	<b>80</b>	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	2,20	2,00	1,93	1,89	1,85	1,85
13	1,97	1,78	1,70	1,66	1,61	1,61
14	1,78	1,59	1,52	1,48	1,43	1,42
15	1,62	1,44	1,37	1,33	1,27	1,26
16	1,49	1,32	1,24	1,20	1,15	1,13
<b>17</b>	1,38	1,21	1,14	<b>1,10</b>	1,04	1,03
18	1,28	1,12	1,05	1,01	0,96	0,94
19	1,19	1,04	0,98	0,94	0,88	0,86
20	1,12	0,98	0,91	0,87	0,82	0,80
21	1,05	0,92	0,85	0,81	0,76	0,74
22	0,99	0,86	0,80	0,76	0,71	0,69
23	0,93	0,81	0,76	0,72	0,67	0,65
24	0,88	0,77	0,71	0,68	0,63	0,61
25	0,84	0,73	0,68	0,64	0,59	0,57
26	0,79	0,70,	0,64	0,61	0,56	0,54
27	0,75	0,66	0,61	0,58	0,53	0,52
28	0,72	0,63	0,59	0,56	0,51	0,49
29	0,68	0,60	0,56	0,53	0,49	0,47
30	0,65	0,58	0,54	0,51	0,46	0,45
31	0,62	0,55	0,51	0,49	0,44	0,43
32	0,59	0,53	0,49	0,47	0,43	0,41
33	0,57	0,51	0,47	0,45	0,41	0,39
34	0,54	0,49	0,46	0,43	0,39	0,38

Fonte: DNER. Manual de *Whitetopping*. Brasil, 2000. 1 CD-ROM.

c) na Tabela 22;  $k_{ES} = 2,55$  e  $k_{ETD} = 2,57$ ;

<b>TABELA 22</b>														
<b>Fator de Erosão para Eixos Simples (ES) e Tandem Duplos (ETD)</b>														
<b>(Junta com Barras de transferência e pavimento com acostamento de concreto)</b>														
Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de Recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		200	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,07	3,09	3,02	2,99	3,00	2,93	2,97	2,90	2,96	2,88	2,94	2,84	2,92	2,83
13	2,97	3,02	2,92	2,92	2,90	2,86	2,87	2,83	2,86	2,80	2,84	2,76	2,82	2,74
14	2,88	2,96	2,83	2,85	2,81	2,79	2,78	2,76	2,77	2,73	2,75	2,68	2,73	2,66
15	2,80	2,89	2,75	2,79	2,73	2,72	2,70	2,69	2,69	2,66	2,67	2,61	2,65	2,59
16	2,72	2,84	2,67	2,73	2,65	2,66	2,62	2,63	2,61	2,60	2,59	2,55	2,57	2,52
17	2,64	2,78	2,60	2,68	2,58	2,60	<b>2,55</b>	<b>2,57</b>	2,54	2,54	2,52	2,48	2,49	2,45
18	2,57	2,73	2,53	2,62	2,51	2,55	2,48	2,51	2,47	2,48	2,45	2,42	2,42	2,39
19	2,51	2,69	2,47	2,57	2,44	2,50	2,41	2,46	2,40	2,43	2,38	2,37	2,36	2,33
20	2,44	2,64	2,41	2,53	2,38	2,45	2,35	2,41	2,34	2,38	2,32	2,31	2,29	2,28
21	2,38	2,60	2,35	2,48	2,32	2,40	2,29	2,36	2,28	2,33	2,26	2,26	2,23	2,22
22	2,33	2,56	2,30	2,44	2,27	2,36	2,24	2,32	2,23	2,29	2,21	2,21	2,18	2,17
23	2,27	2,52	2,24	2,40	2,21	2,31	2,18	2,27	2,17	2,24	2,15	2,17	2,12	2,12
24	2,23	2,48	2,10	2,36	2,16	2,28	2,13	2,24	2,12	2,20	2,10	2,13	2,07	2,08
25	2,18	2,43	2,14	2,33	2,11	2,24	2,09	2,20	2,08	2,17	2,05	2,09	2,02	2,03
26	2,14	2,39	2,09	2,29	2,06	2,21	2,04	2,17	2,03	2,13	2,01	2,06	1,97	1,99
27	2,19	2,35	2,05	2,26	2,02	2,17	2,00	2,13	1,99	2,10	1,96	2,03	1,93	1,95
28	2,06	2,32	2,01	2,23	1,98	2,14	1,95	2,10	1,94	2,07	1,92	1,99	1,98	1,91
29	2,03	2,28	1,97	2,19	1,94	2,11	1,91	2,07	1,90	2,04	1,88	1,96	1,85	1,87
30	1,99	2,25	1,93	2,16	1,90	2,08	1,87	2,04	1,86	2,01	1,83	1,93	1,81	1,85
31	1,96	2,21	1,89	2,13	1,86	2,05	1,83	2,01	1,82	1,98	1,80	1,90	1,77	1,80
32	1,92	2,18	1,86	2,11	1,83	2,03	1,80	1,99	1,79	1,95	1,76	1,87	1,74	1,76
33	1,89	2,15	1,82	2,08	1,79	2,00	1,76	1,96	1,75	1,92	1,72	1,85	1,70	1,73
34	1,86	2,12	1,79	2,05	1,76	1,97	1,73	1,93	1,72	1,90	1,69	1,82	1,67	1,70

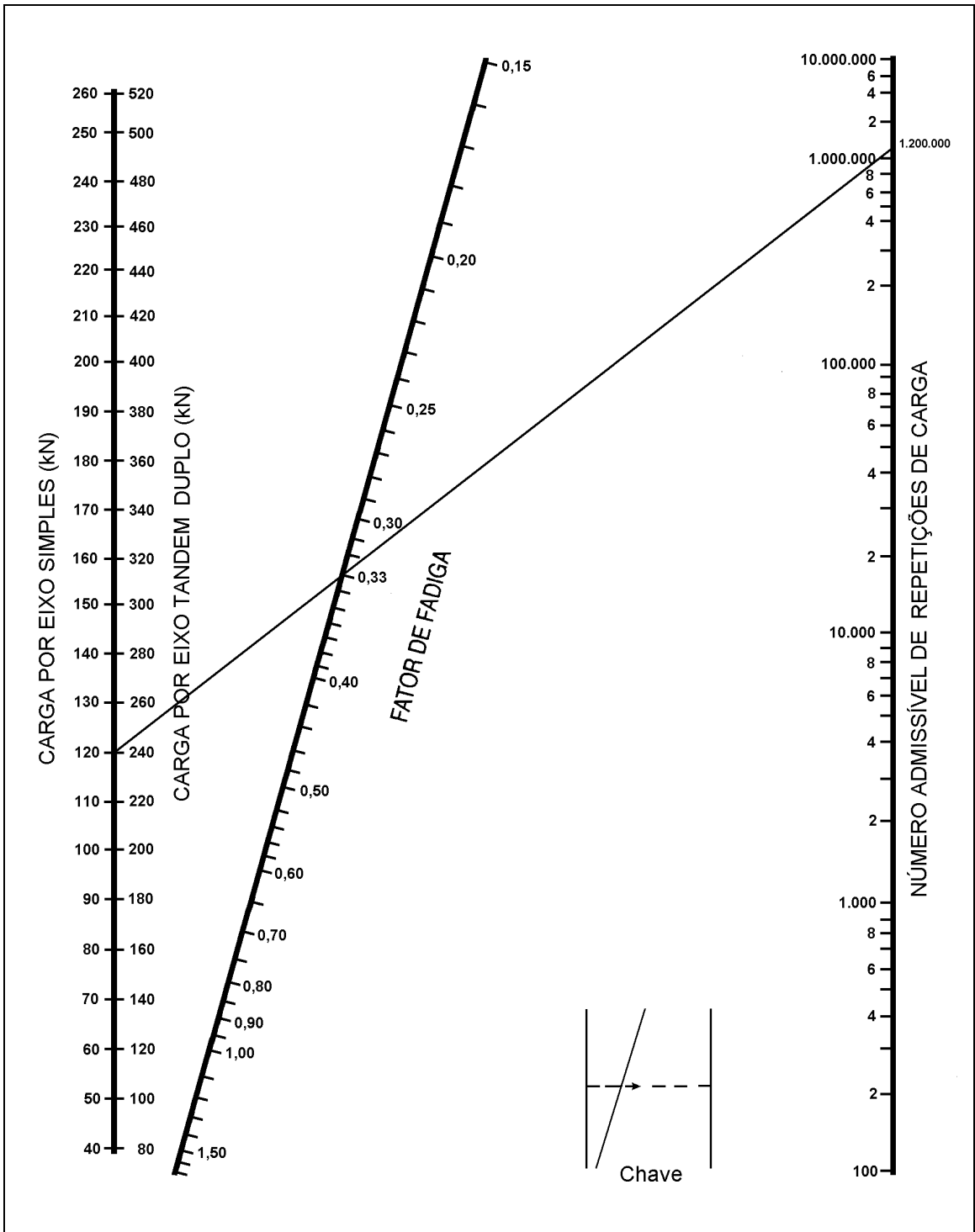
Fonte: DNER. Manual de *Whitopping*. Brasil, 2000. 1 CD-ROM.

d) na Tabela 23;  $k_{ETT} = 2,57$ ;

<b>TABELA 23</b>						
<b>Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos (ETT)</b> <b>(Junta com barras de transferência e pavimento com acostamento de concreto)</b>						
Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de Recalque (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	3,12	2,99	2,93	2,90	2,85	2,82
13	3,06	2,92	2,85	2,81	2,76	2,73
14	3,00	2,86	2,78	2,74	2,67	2,64
15	2,95	2,80	2,73	2,67	2,59	2,56
16	2,91	2,76	2,67	2,62	2,52	2,49
<b>17</b>	2,86	2,71	2,62	<b>2,57</b>	2,47	2,43
18	2,82	2,67	2,58	2,52	2,41	2,37
19	2,79	2,63	2,54	2,48	2,37	2,32
20	2,75	2,59	2,50	2,44	2,32	2,28
21	2,72	2,56	2,47	2,40	2,28	2,23
22	2,68	2,53	2,43	2,37	2,25	2,20
23	2,65	2,49	2,40	2,34	2,21	2,16
24	2,62	2,46	2,37	2,31	2,18	2,13
25	2,59	2,44	2,34	2,28	2,15	2,10
26	2,57	2,41	2,32	2,25	2,12	2,07
27	2,54	2,38	2,29	2,22	2,10	2,04
28	2,51	2,36	2,26	2,20	2,07	2,01
29	2,49	2,33	2,24	2,17	2,04	1,99
30	2,47	2,31	2,22	2,15	2,02	1,96
31	2,44	2,29	2,19	2,13	2,00	1,94
32	2,42	2,26	2,17	2,10	1,97	1,92
33	2,44	2,24	2,15	2,08	1,95	1,89
34	2,38	2,22	2,13	2,06	1,93	1,87

Fonte: DNER. Manual de *Whitetopping*. Brasil, 2000. 1 CD-ROM.

e) na Figura 20; Número Admissível de Repetições de Carga = 1.200.000;

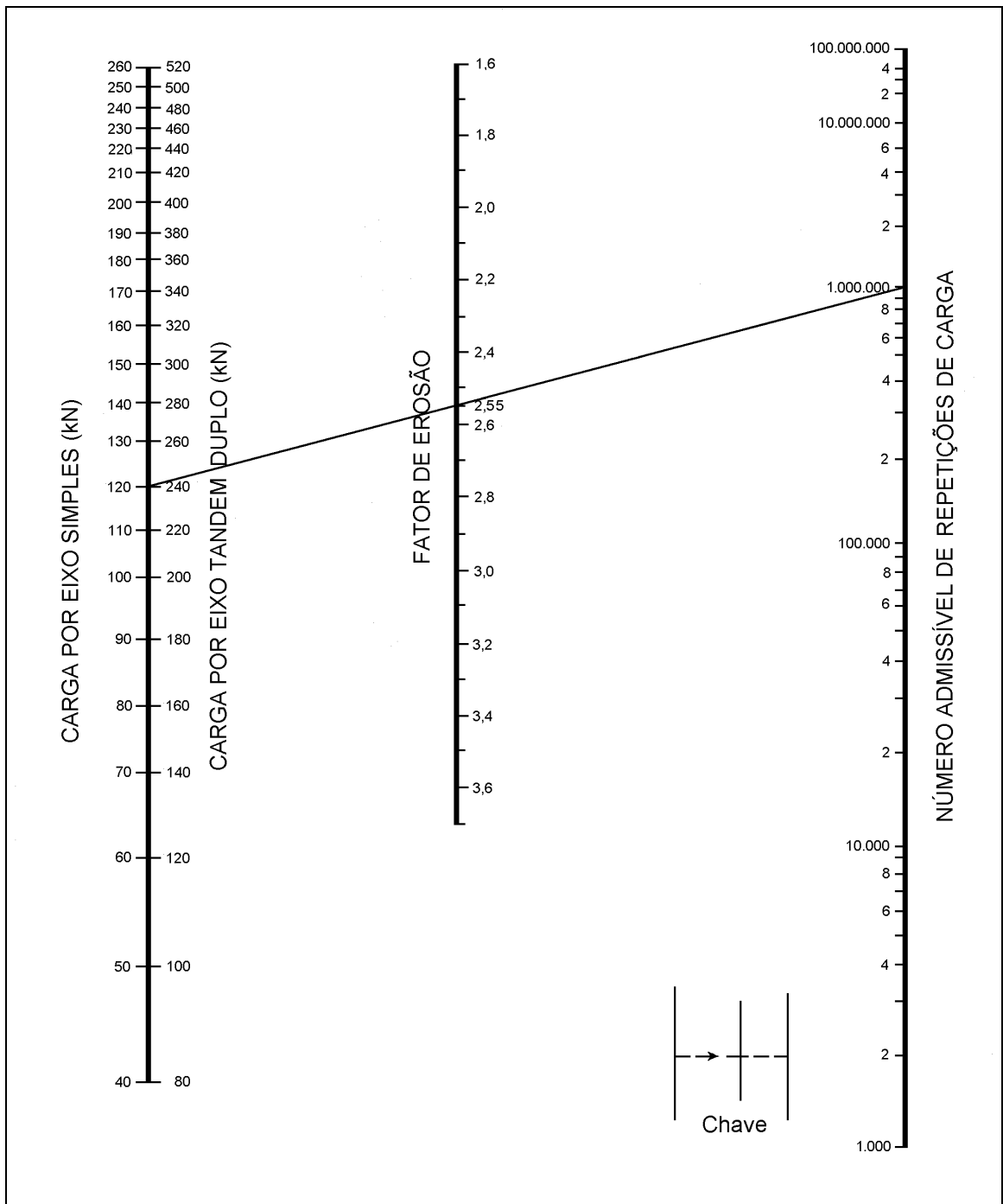


**FIGURA 20**

**Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com ou sem acostamento de concreto)**

Fonte: DNER. Manual de *Whitetopping*. Brasil, 2000. 1 CD-ROM.

f) na Figura 21; Número Admissível de Repetições de Carga = 1.000.000.



**FIGURA 21**

**Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de concreto)**

Fonte: DNER. Manual de *Whitetopping*. Brasil, 2000. 1 CD-ROM.



Conforme a Tabela 24, foram determinados os Fatores de Fadiga.

<b>Tipo de Eixo</b>	<b>Tensão Equivalente</b>	<b>Fator de Fadiga</b>	<b>Fator de Erosão</b>
<b>Simples</b>	1,66	0,33	2,55
<b>Tandem Duplo</b>	1,39	0,28	2,57
<b>Tandem Triplo</b>	1,10	0,22	2,57

Fator de Fadiga = Tensão Equivalente/ $F_{ctM,k}$

$F_{ctM,k} = 5,0$  Mpa

#### **3.4.1.2. CÁLCULO DA ESPESSURA DA PLACA**

Apresenta-se na Tabela 25, a memória de cálculo referente ao dimensionamento pelo “Método PCA/84”, onde a espessura da placa, estimada em 17 cm, foi considerada suficiente.

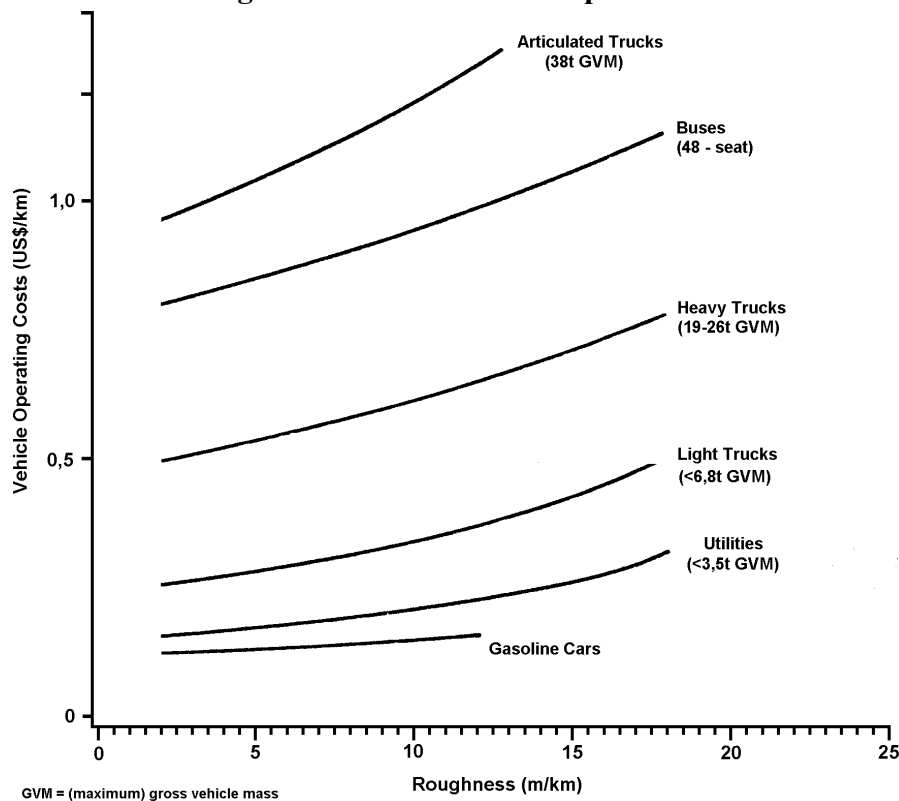
TABELA 25									
Dimensionamento de Pavimento Rígido									
Método PCA/84									
Espessura da Placa:		17			cm		Barra Transversal:		sim
Ksistema (sub-leito/sub-base):		80			MPa/m		Acostamento de Concreto:		sim
FctM,k:		5,0			MPa		Período de Projeto (anos):		20
Fator segurança cargas:		1,2							
					Análise da Fadiga		Análise de Erosão		
Carga por eixo		Carga por eixo, corrigida	Número de solicitações por dia (VDM)	Número de solicitações no período do projeto (N)	Solicitações Admissíveis	Fadiga (%)	Solicitações Admissíveis	Erosão (%)	
(tf)	(kN)	x Fsc	(n1)	20x365xn1					
<b>Eixos Simples</b>					Tensão Equivalente:	<b>1,66</b>			
					Fator de Fadiga:	<b>0,33</b>	Fator de Erosão:	<b>2,55</b>	
10	100	120	120	876.000	1.200.000	73,00	1.000.000	87,60	
6	60	72	40	292.000	ilimitado	0,00	ilimitado	0,00	
5	50	60	120	876.000	ilimitado	0,00	ilimitado	0,00	
3	30	36	41	299.300	ilimitado	0,00	ilimitado	0,00	
<b>Eixos Tandem Duplos</b>					Tensão Equivalente:	<b>1,39</b>			
					Fator de Fadiga:	<b>0,28</b>	Fator de Erosão:	<b>2,57</b>	
17	170	204	186	1.357.800	ilimitado	0,00	ilimitado	0,00	
6	60	72	62	452.600	ilimitado	0,00	ilimitado	0,00	
<b>Eixos Tandem Triplos</b>					Tensão Equivalente:	<b>1,10</b>			
					Fator de Fadiga:	<b>0,22</b>	Fator de Erosão:	<b>2,57</b>	
25	250	300	176	1.284.800	ilimitado	0,00	ilimitado	0,00	
9	90	108	59	430.700	ilimitado	0,00	ilimitado	0,00	
			<b>804</b>	<b>Total</b>		<b>73,00</b>	<b>87,60</b>		

### 3.4.2. CUSTO OPERACIONAL DE VEÍCULO

#### 3.4.2.1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que com o decorrer do tempo, verifica-se um processo de deterioração da superfície do pavimento asfáltico da rodovia, tendo como consequência o aumento das irregularidades do pavimento, produzindo como efeito direto o aumento os custos operacionais dos veículos (ver Figura 22), tendo em vista o aumento das vibrações provocadas, que quando transmitidas ao veículo, aumentam consideravelmente o consumo de combustível por conta de uma menor velocidade de uso normal da rodovia, aumentando consideravelmente o tempo de viagem, bem como o desgaste geral dos veículos, implicando em maior consumo de pneus, peças, lubrificantes etc., diminuindo sobremaneira sua vida útil, e acarretando custos adicionais aos usuários e ao País.

**Influência da Rugosidade sobre o Custo Operacional dos Veículos**



**FIGURA 22**

Fonte: p.14/Road Deterioration and Maintenance Effects/A World Bank Publication

### 3.4.2.2. VEÍCULO DE REFERÊNCIA

A partir da Revista "Indicadores do Transporte/Associação Nacional do Transporte de Cargas - NTC/Novembro/2000", foi obtida a equação abaixo, que representa a variação do custo operacional dos veículos (caminhões), mensal por quilometro ( $COV^{Cam}_{mês}/Km$ ), em função da quilometragem (X) percorrida no mês, para caminhões trafegando por estradas pavimentadas, em boas condições, para efeito de análise, neste estudo, foi adotado como *Veículo de Referência*, o caminhão Tipo: MB L-1218/51 c/3º Eixo.

$$COV^{Cam}_{mês}/km = CF/X + 0,3741, \text{ onde;}$$

Considerando-se que este tipo de caminhão tem um *custo fixo* (CF) mensal da ordem de R\$ 3.614,6536 e percorre uma *distancia média* (X) mensal de 9.000Km (NTC/Novembro/2000), pode-se determinar o custo operacional do veículo, diário por quilometro ( $COV^{Cam}_{dia}/Km$ ), abaixo:

$$COV^{Cam}_{dia}/km = 3.614,6536/9.000 + 0,3741$$

$$COV^{Cam}_{dia}/km = R\$ 0,7757/km$$

### 3.4.2.3. PREVISÃO DE CUSTO OPERACIONAL: BRASIL

Considerando que o *custo operacional dos veículos* (COV), é uma variável de característica muito regional, bastante influenciada pelas características físicas das rodovias da região como *rugosidade da superfície, geometria horizontal e vertical (terreno), velocidade de operação, clima* etc., e ainda pelo *ambiente econômico regional*, em particular os preços dos insumos para produção do transporte como *combustível, pneus, mão de obra de manutenção dos veículos, peças* etc., e ainda os custos financeiros como *preço dos veículos novos, impostos, depreciação, juros, e despesas de pessoal com a equipe* etc., que são de características muito regionais. Portanto substancialmente diferentes em ambientes econômicos distintos, a questão básica consiste portanto em se estabelecer modelos simplificados, e ainda com razoável

precisão, que representem a realidade, das complexas características dos *custos operacionais de veículos* de uma determinada região.

Existem inúmeros estudos sobre o tema para as mais diversas regiões do mundo. Nesse contexto, foram selecionados os parâmetros apresentados conforme a Tabela 26, e que fazem parte do mais completo e recente estudo realizado para o Brasil. Esse estudo foi desenvolvido pelo GEIPOT (1976-1982) através do United Nations Development Programme (UNDP/76), e financiado pelo Banco Mundial, e que representa os valores médios característicos da composição dos custos operacionais de veículos para a realidade brasileira.

TABELA 26													
Previsão de Custo Operacional de Veículos: Brasil													
Veículos	IRI	V	Custo em Cruzeiros por 10 <sup>3</sup> Km, Incluindo taxas,1976					Custo Total					Pontos plotados na Figura 24
								(por 10 <sup>3</sup> km)		(por km)			
	m/km	Km/h	F	O	T	P+L+D+I	C	Conversão Cambial		Conversão Cambial		Atual	
								Cr\$	US\$	US\$(1)	R\$	R\$	
													(1)*(2)
Carros	2,8	62,7	43	4	7	309	64	427	46,77	0,0468	0,0912	0,1748	0,09
	7,4	59,3	42	4	32	432	67	577	63,20	0,0632	0,1232	0,2362	0,12
	12,0	55,8	41	4	56	612	72	785	85,98	0,0860	0,1677	0,3214	
Ônibus	2,8	72,1	413	37	280	846	312	1888	206,79	0,2068	0,4032	0,7730	0,40
	7,4	54,7	400	40	302	1081	411	2234	244,69	0,2447	0,4771	0,9147	0,47
	12,0	43,6	422	43	349	1396	516	2726	298,58	0,2986	0,5822	1,1161	
Caminhões: (MB L1218/51) C/3ºEixo	2,8	64,4	531	40	280	577	466	1894	207,45	0,2074	0,4045	0,7757	0,40
	7,4	48,7	537	47	302	1087	616	2589	283,57	0,2836	0,5530	1,0600	0,54
	12,0	37,0	588	56	349	1510	811	3314	362,98	0,3630	0,7078	1,3569	
Articulados	2,8	62,3	968	40	517	1844	578	3947	432,31	0,4323	0,8430	1,6160	0,83
	7,4	39,6	1075	47	566	2640	909	5237	573,60	0,5736	1,1185	2,1442	1,10

**Câmbio: US\$ 1 = Cr\$ 9,13 (01/01/76) = R\$ 1,95 (01/11/2000) Índice de Inflação(2) = 1,918**

Fonte: Vehicle Operating Costs/Evidence from Developing Countries/A World Bank Publication /c.9/ tab.9.22, 9.24, 9.26 e 9.28

Para rodovias pavimentadas, de boa qualidade; curvatura de 100°/km

Origem: GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes

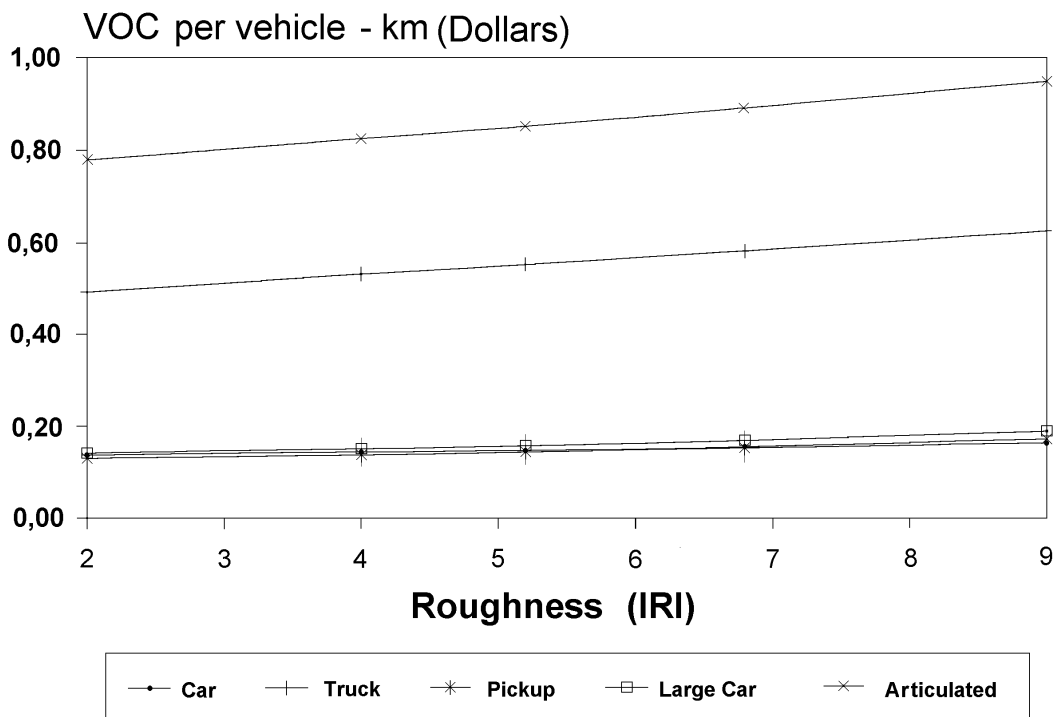
#### Abreviações usadas na tabela

- V - Velocidade do veículo (km/h)
- F - Custo do combustível (unidade monetária/10<sup>3</sup> km)
- O - Custo do lubrificante (unidade monetária/10<sup>3</sup> km)
- T - Custo do pneu (unidade monetária/10<sup>3</sup> km)
- P - Custo de manutenção(peças) (unidade monetária/10<sup>3</sup> km)
- L - Custo de manutenção(mão de obra) (unidade monetária/10<sup>3</sup> km)
- D - Custo de depreciação (unidade monetária/10<sup>3</sup> km)
- I - Custo Financeiro (Juros) (unidade monetária/10<sup>3</sup> km)
- C - Custo da Equipe (motorista, ajudante etc) (unidade monetária/10<sup>3</sup> km)

Deve-se considerar, evidentemente, para esses custos as devidas atualizações cambiais e inflacionárias do período (ano base 1976), período (1976-2000).

Considerando-se ainda que para faixas de IRI, características de rodovias pavimentadas ( $2,3 < IRI < 7,5$ ), o comportamento da relação entre o COV x IRI, obedece a uma lei de variação, linearmente proporcional, conforme se pode observar nos resultados obtidos, utilizando-se o modelo matemático adotado pelo software, Highway Design and Maintenance Model (HDM IV/ World Bank), (ver Figura 23).

## Vehicle Operating Costs



**FIGURA 23**

Fonte: Highway Design and Maintenance Model - HDM IV

### 3.4.2.4. EQUAÇÕES DE INTER-RELACIONAMENTO ENTRE (COV) E (IRI), PARA RODOVIAS PAVIMENTADAS

Foram então estabelecidas as respectivas *equações lineares* que representem o inter-relacionamento entre os custos de utilização das rodovias (COV) e as condições de

conservação da mesma (IRI), para rodovias pavimentadas, com base nos dados obtidos da referida Tabela 26, tem-se:

- Atualização Cambial (Índice de Atualização Cambial - IAC)

Será obtida a partir da relação cambial vigente entre o Dólar Americano (US\$) e a moeda corrente local, no caso Real (R\$):

$$IAC = 1,95 \text{ (pois, em 01/11/2000, US\$ 1 = R\$ 1,95)}$$

- Atualização Inflacionaria (Índice de Atualização Inflacionaria - IAI)

Corresponde à relação entre o custo operacional vigente (na moeda corrente local) para um *veículo de referência*, para o qual se identifica facilmente o seu custo operacional, no caso caminhão (conforme obtido anteriormente R\$ 0,7757/Km) e custo operacional do veículo equivalente obtido em dólar, pelo estudo UNDP/76 (US\$ 0,2074/km), para as mesmas condições do pavimento (rodovias pavimentadas em boas condições, IRI=2,8), convertido para a moeda corrente local, pelo *Índice de Atualização Cambial – IAC*

$$IAI = \frac{COV_{dia(R\$ / km)}^{cam}}{COV_{dia(US\$ / km)}^{cam} * IAC} = \frac{0,7757}{0,2074 * 1,95} = 1,918$$

Determinação das *equações lineares* de relação entre IRI(x) e COV(y);

Portanto as equações serão do tipo;  $y = ax + b$ ;

- Carros:

Para  $x = 2,8$ ;  $y = 0,0468$ ;  $0,0468 = 2,8*a + b$ ; (I)

Para  $x = 7,4$ ;  $y = 0,0632$ ;  $0,0632 = 7,4*a + b$ ; portanto  $b = 0,0632 - 7,4*a$



Em (I)  $0,0468 = 2,8*a + 0,0632 - 7,4*a$ ; portanto  $a = 0,00356$  e  $b = 0,03685$

$$\text{COV}^{\text{Car}}_{\text{dia}}/\text{Km} = (\text{IAC}) * (\text{IAI}) * (3,56 * (\text{IRI}) + 36,85) * 10^{-3} \text{ em R\$/km};$$

- Ônibus:

$$\text{COV}^{\text{Oni}}_{\text{dia}}/\text{Km} = (\text{IAC}) * (\text{IAI}) * (8,24 * (\text{IRI}) + 183,72) * 10^{-3} \text{ em R\$/km};$$

- Caminhões:

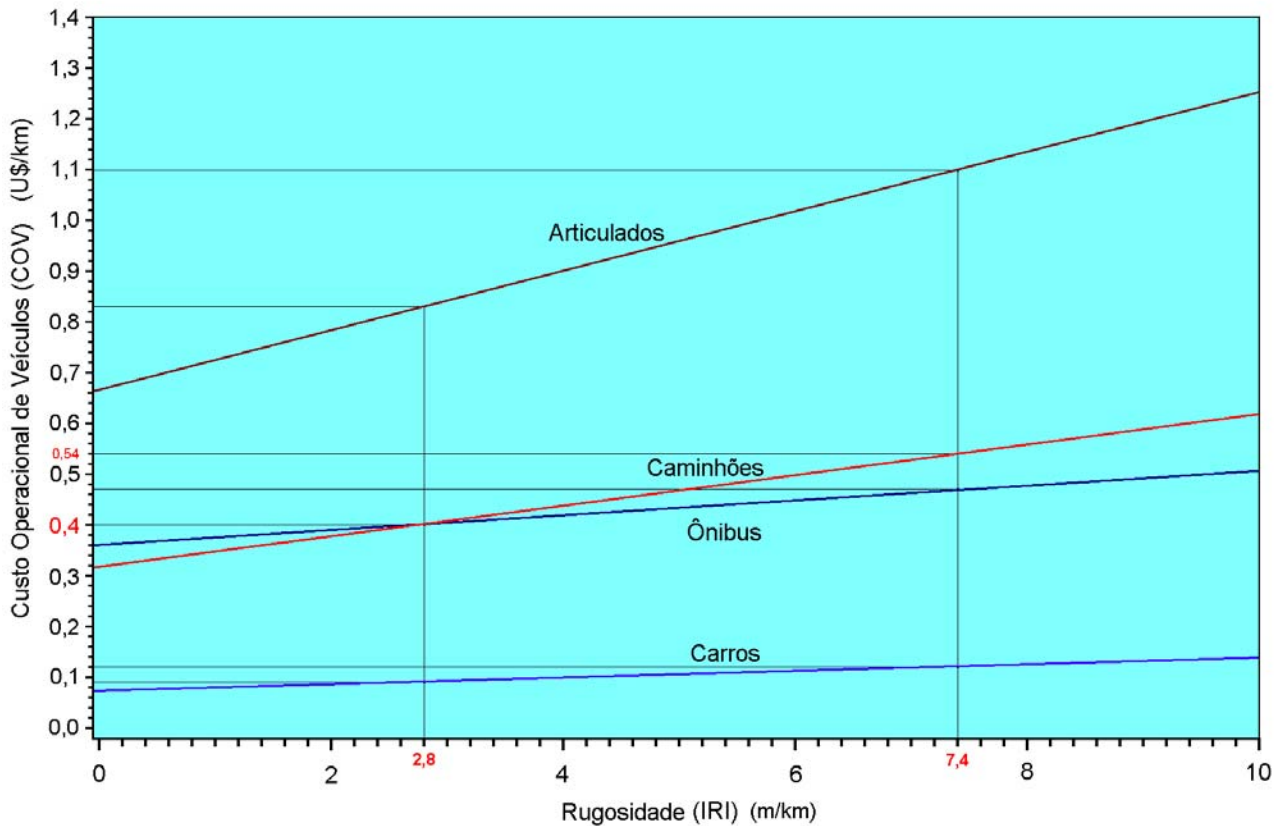
$$\text{COV}^{\text{Cam}}_{\text{dia}}/\text{Km} = (\text{IAC}) * (\text{IAI}) * (16,56 * (\text{IRI}) + 161,05) * 10^{-3} \text{ em R\$/km};$$

- Caminhões Articulados:

$$\text{COV}^{\text{Art}}_{\text{dia}}/\text{Km} = (\text{IAC}) * (\text{IAI}) * (30,72 * (\text{IRI}) + 346,27) * 10^{-3} \text{ em R\$/km};$$

Estas equações, que representam portanto com razoável precisão, a lei de variação dos (COV) *custos operacionais dos veículos*, em função da Irregularidade Longitudinal, aqui representada pelo (IRI) *International Roughness Index*, para a realidade brasileira (ver Figura 24), e que serão utilizadas para determinação da evolução dos custos operacionais dos veículos ao longo do período deste *estudo de caso* (2000-2020).

### Previsão de Custo Operacional de Veículos: Brasil.



**FIGURA 24**

Fonte: Vehicle Operating Costs/Evidence from Developing Countries/A World Bank Publication /c.9/ tab.9.22, 9.24, 9.26 e 9.28; 1US\$ = R\$1,95 (Novembro/2000)

#### 3.4.2.5. EVOLUÇÃO DA IRREGULARIDADE

Considerando que o volume anual de tráfego estimado para o último ano do projeto (1995), representa para a realidade atual, o tráfego tomado nas duas direções, e a partir daí, adotando-se um crescimento anual do volume de tráfego, estimado em 3% a.a. (este valor é recomendado por estudos realizados pelo Banco Mundial, para países em desenvolvimento), representando melhor a realidade atual do crescimento anual do volume de tráfego, pode-se obter a evolução dos respectivos volumes de tráfego, para os anos seguintes e conseqüentemente para o período em estudo (2000-2020).

Com relação à projeção da evolução das condições de *Irregularidade* da superfície do pavimento flexível, será utilizado para determina-las, os métodos empíricos recomendados pelo Banco Mundial, a seguir:

- Classificação de condição da superfície do pavimento. (Ver Tabela 27)

$$IRI = IRI_{f(PSI)} + IRI_0$$

$$IRI_{f(PSI)} = 5,5 * \text{Log}_e(5/PSI), \text{ (m/km)}$$

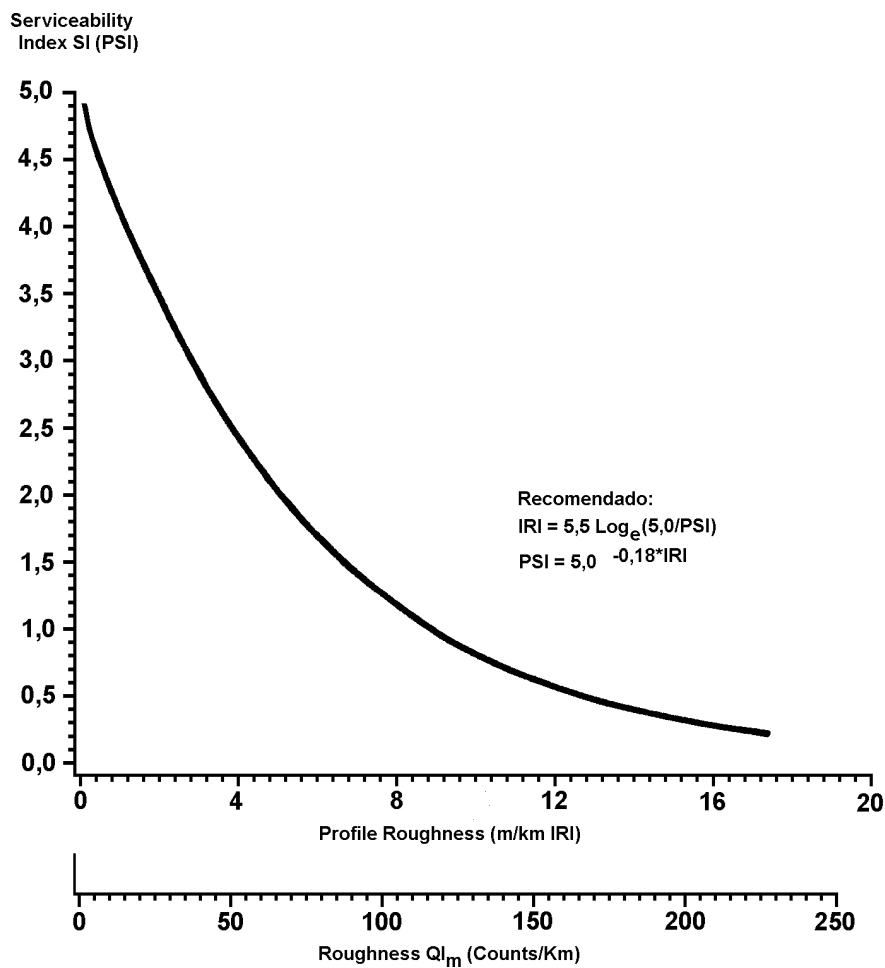
$IRI_0 = 1,58 \text{ m/km}$  (Irregularidade inicial).

PSI = Índice Atual de Serventia (Present Serviceability Index)/AASHO Road Test, (ver Figura 25).

*Fonte:* p.34/ Road Deterioration and Maintenance Effects/A World Bank Publication.

<b>TABELA 27</b>			
<b>International Roughness Index (IRI)</b>			
<b>PSI</b>	<b>IRI</b>		<b>Condição</b>
<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Faixa</b>	
1	10,4	$6,6 < IRI$	Muito Ruim
2	6,6	$4,4 < IRI < 6,6$	Ruim
3	4,4	$2,8 < IRI < 4,4$	Regular
4	2,8	$1,6 < IRI < 2,8$	Bom
5	1,6	$IRI < 1,6$	Muito Bom

### Relação entre AASHO Serviceability Index (PSI) e as escalas de rugosidade $QI_m$ e IRI



**FIGURA 25**

Fonte: p.43/Road Deterioration and Maintenance Effects/A World Bank Publication

- Resistência dos pavimentos flexíveis(SNC, número estrutural modificado), (ver Tabela 29).

$$SNC = 0,04 * \sum(a_i * h_i) + SN_{sg} \text{ (Hodges e outros/1975)}$$

$a_i$  = coeficiente de resistência da camada, depende do material, (ver Tabela 28)

$h_i$  = espessura da camada, em “mm” (onde,  $\sum h_i \leq 700\text{mm}$ )

$SN_{sg}$  = contribuição da sub-base(=  $3,51 * \log_{10}(CBR) - 0,85 * (\log_{10}(CBR))^2 - 1,43$ )

CBR = local Califórnia Bearing Ratio da sub-base, em “%”

Fonte: p.135/Road Deterioration and Maintenance Effects/A World Bank Publication.

TABELA 28	
Coeficientes de resistência da camada para número estrutural	
Camada do Pavimento	Coeficiente de resistência( $a_i$ )
<b>Revestimento</b>	
<b>Tratamento superficial</b>	0,20 a 0,40
<b>Misturas asfálticas (a frio ou quente)</b>	0,20
<b>Concreto asfáltico ( a quente)</b>	
<b>MR<sub>30</sub> =1.500 MPa</b>	0,30
<b>MR<sub>30</sub> =2.500 MPa</b>	0,40
<b>MR<sub>30</sub> =4.000 MPa</b>	0,45
<b>Base</b>	
<b>Material granular</b>	<b>Carga máxima por eixo</b>
	<b>&lt; 80kN(8,2t)      &gt; 80kN(8,2t)</b>
<b>CBR = 30%</b>	0,07                  0,00
<b>CBR = 50%</b>	0,10                  0,00
<b>CBR = 70%</b>	0,12                  0,10
<b>CBR = 90%</b>	0,13                  0,12
<b>CBR = 100%</b>	0,14                  0,14
<b>Materiais cimentados</b>	
<b>UCS 0.7 MPa</b>	0,10
<b>UCS 2.0 MPa</b>	0,15
<b>UCS 3.5 MPa</b>	0,20
<b>UCS 5.0 MPa</b>	0,24
<b>Materiais betuminosos</b>	0,32
<b>Sub-base e camadas de sub-leito selecionado (para altura total do pavimento até 70cm)</b>	
<b>Material granular</b>	
<b>CBR = 30%</b>	0,06
<b>CBR = 50%</b>	0,09
<b>CBR = 70%</b>	0,10
<b>CBR = 90%</b>	0,12
<b>CBR = 100%</b>	0,14
<b>Materiais cimentados</b>	
<b>UCS 0.7 MPa</b>	0,14

MR<sub>30</sub> = modulo de resiliência pelo teste indireto de tensionamento à 30°C

UCS = unconfined compressive strength em Mpa a 14 dias

Fonte:p.136/Road Deterioration and Maintenance Effects/A World Bank Publication.

TABELA 29						
Número Estrutural Modificado do Pavimento						
Camada	CBR%	SNsg	$a_i$	hi(mm)	$a_i * h_i$	$a_i * h_i + SNsg$
Revestimento	60	2,12	0,40	25	10,00	12,12
Base	60	2,12	0,10	200	20,00	22,12
Sub-base	20	1,70	0,06	200	12,00	13,70
					<b>Somatório</b>	<b>47,94</b>
					<b>SNC</b>	<b>1,92</b>

- Evolução volumes de tráfego (TMD) e respectivos Índices de Irregularidade (IRI) para o pavimento flexível proposto (CBUQ), ao longo dos 20 anos em estudo. (Ver Tabela 30).

$$QI = 12,63 - 5,16 * RH + 3,31 * ST + 0,393 * AGE + 8,66 * (LN/SNC) + 7,17 * 10^{-5} * (B * LN)^2$$

$$R^2 = 0,53; S.E. = 10,2 \text{ counts/km QI}$$

$$QI = 13 * IRI \text{ (Relação entre Coeficiente de Irregularidade/Brasil e IRI/World Bank)}$$

ST = tipo do revestimento (0 para CBUQ); (1 para TSD)

AGE = Idade do revestimento (inicial ou recapeamento)

RH = reabilitação (0 para construção inicial); (1 para recapeamento)

LN = logaritmo de base 10 do número de 80kN(8,2t) do acumulado de eixos equivalentes.

SNC = número estrutural modificado do pavimento.

B = Deflexão da viga Benkelman tensionada (=0,01mm)

*Fonte:* Modelo GEIPOT by Queiroz (1981)/Brazil-UNDP study (GEIPOT 1982/Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes)/p.403/Road Deterioration and Maintenance Effects/A World Bank Publication.

<b>TABELA 30</b>									
<b>Evolução do TMD, N e IRI</b>									
<b>Pavimento Flexível Proposto(CBUQ)</b>									
<b>Ano</b>	<b>Tráfego Médio Diário(TMD)/<sup>Duas Direções</sup></b>				<b>ST</b>	<b>RH</b>	<b>AGE</b>	<b>2xN</b>	<b>IRI</b>
	<b>Carro</b>	<b>Ônibus</b>	<b>Caminhão</b>	<b>Total</b>					
1995	423	12	760	1195	1	0	10	1,2E+6	3,9
1996	436	13	783	1232	1	0	11	1,3E+6	3,9
1997	450	14	807	1271	1	0	12	1,5E+6	4,0
1998	464	15	832	1311	1	0	13	1,6E+6	4,0
1999	478	16	857	1351	1	0	14	1,8E+6	4,1
2000	493	17	883	1393	0	1	15	2,0E+6	3,4
2001	508	18	910	1436	0	1	16	2,2E+6	3,5
2002	524	19	938	1481	0	1	17	2,4E+6	3,5
2003	540	20	967	1527	0	1	18	2,7E+6	3,6
2004	557	21	997	1575	0	1	19	2,9E+6	3,6
2005	574	22	1027	1623	0	1	20	3,1E+6	3,7
2006	592	23	1058	1673	0	1	21	3,4E+6	3,7
2007	610	24	1090	1724	0	2	22	3,7E+6	3,3
2008	629	25	1123	1777	0	2	23	3,9E+6	3,4
2009	648	26	1157	1831	0	2	24	4,2E+6	3,4
2010	668	27	1192	1887	0	2	25	4,5E+6	3,5
2011	689	28	1228	1945	0	2	26	4,9E+6	3,5
2012	710	29	1265	2004	0	2	27	5,2E+6	3,5
2013	732	30	1303	2065	0	2	28	5,6E+6	3,6
2014	754	31	1343	2128	0	3	29	5,9E+6	3,2
2015	777	32	1384	2193	0	3	30	6,3E+6	3,2
2016	801	33	1426	2260	0	3	31	6,7E+6	3,3
2017	826	34	1469	2329	0	3	32	7,2E+6	3,3
2018	851	36	1514	2401	0	3	33	7,6E+6	3,4
2019	877	38	1560	2475	0	3	34	8,1E+6	3,4
2020	904	40	1607	2551	0	4	35	8,6E+6	3,0

<b>TMD</b>	Taxa Anual de Crescimento(%)	<b>3,00</b>
<b>RH</b>	ReHabilitação(Const.Inicial=0; Recapeamento=1)	
<b>ST</b>	Superfície Tipo(CBUQ=0; TSD=1)	
<b>LN</b>	Logarítmo na base 10 de N	
<b>SNC</b>	Número Estrutural Modificado do Pavimento	<b>1,92</b>
<b>B</b>	Deflexão da Viga Benkelman Tensionada(0,01mm)	<b>0,01</b>
<b>FV</b>	Fator de Veículo	<b>0,298</b>
<b>FR</b>	Fator Climático Regional	<b>1,4</b>

- Evolução dos Índices de Irregularidade (IRI) para pavimentos rígido proposto (CCP), ao longo dos 20 anos em estudo.

Com relação à projeção da evolução das condições de Irregularidade da superfície do *pavimento rígido*, com base em dados históricos de pavimentos existentes, que comprovam a grande resistência do mesmo ao longo dos anos, com uma variação mínima da rugosidade; para efeito desta análise será considerada uma variação do IRI na

faixa de 2,3 até 2,7m/Km ao longo dos 20 anos em estudo, que representa um bom estado de conservação ao longo de todo período.

### 3.4.2.6. EVOLUÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS

De posse destes volumes de tráfego (TMD) e respectivos Índices de Irregularidade (IRI), tanto para o pavimento flexível atual, como para os pavimentos propostos, pode-se obter o custo operacional dos veículos, anual por quilometro, para a rodovia em estudo, conforme a seguir (ver Tabela 31 e 32):

$$(\text{COV}^{\text{Car}}_{\text{ano}}/\text{Km})_{\text{Rod}} = (\text{COV}^{\text{Cam}}_{\text{dia}}/\text{Km}) * 365 * \text{TMD}^{\text{Car}};$$

$$(\text{COV}^{\text{Oni}}_{\text{ano}}/\text{Km})_{\text{Rod}} = (\text{COV}^{\text{Cam}}_{\text{dia}}/\text{Km}) * 365 * \text{TMD}^{\text{Oni}};$$

$$(\text{COV}^{\text{Cam}}_{\text{ano}}/\text{Km})_{\text{Rod}} = (\text{COV}^{\text{Cam}}_{\text{dia}}/\text{Km}) * 365 * \text{TMD}^{\text{Cam}}.$$



TABELA 31

Pavimento: Flexível Proposto(CBUQ) em R\$/Km

Ano	Tráfego				IRI	Custos					
	Tráfego Médio Diário(TMD)					Conservação		Operação			
	Carro	Ônibus	Caminhão	Total		Restauração	Manutenção	Carro	Ônibus	Caminhão	Total
1995	423	12	760	1195	3,9						
1996	436	13	783	1232	3,9						
1997	450	14	807	1271	4,0						
1998	464	15	832	1311	4,0						
1999	478	16	857	1351	4,1						
2000	493	17	883	1393	3,4						
2001	508	18	910	1436	3,5	0,00	30.667,39	34.184,53	5.221,38	271.979,55	342.052,85
2002	524	19	938	1481	3,5	0,00	30.667,39	35.261,21	5.511,45	280.348,15	351.788,20
2003	540	20	967	1527	3,6	0,00	31.543,60	36.600,23	5.824,02	291.200,96	365.168,81
2004	557	21	997	1575	3,6	0,00	31.543,60	37.752,46	6.115,22	300.235,12	375.646,40
2005	574	22	1027	1623	3,7	0,00	32.419,81	39.183,56	6.431,16	311.590,20	389.624,73
2006	592	23	1058	1673	3,7	0,00	32.419,81	40.412,31	6.723,48	320.995,55	400.551,15
2007	610	24	1090	1724	3,3	-114.923,70	0,00	40.455,65	6.907,86	320.851,09	253.290,90
2008	629	25	1123	1777	3,4	0,00	29.791,18	42.021,32	7.223,80	333.102,81	412.139,11
2009	648	26	1157	1831	3,4	0,00	29.791,18	43.290,65	7.512,75	343.187,85	423.782,43
2010	668	27	1192	1887	3,5	0,00	30.667,39	44.951,31	7.832,06	356.263,32	439.714,08
2011	689	28	1228	1945	3,5	0,00	30.667,39	46.364,45	8.122,14	367.022,95	452.176,93
2012	710	29	1265	2004	3,5	0,00	30.667,39	47.777,59	8.412,22	378.081,46	464.938,66
2013	732	30	1303	2065	3,6	0,00	31.543,60	49.613,65	8.736,03	392.383,51	482.276,79
2014	754	31	1343	2128	3,2	-114.923,70	0,00	49.639,52	8.887,79	392.288,81	335.892,42
2015	777	32	1384	2193	3,2	0,00	28.038,76	51.153,72	9.174,49	404.264,86	492.631,83
2016	801	33	1426	2260	3,3	0,00	28.914,97	53.122,91	9.498,31	419.755,65	511.291,84
2017	826	34	1469	2329	3,3	0,00	28.914,97	54.780,92	9.786,13	432.413,08	525.895,10
2018	851	36	1514	2401	3,4	0,00	29.791,18	56.852,38	10.402,27	449.080,73	546.126,56
2019	877	38	1560	2475	3,4	0,00	29.791,18	58.589,35	10.980,17	462.725,19	562.085,89
2020	904	40	1607	2551	3,0	-114.923,70	0,00	58.636,38	11.378,16	462.139,56	417.230,40

TABELA 32

Pavimento: Rígido Proposto(CCP/WT)em R\$/Km

Ano	Tráfego				IRI	Custos					
	Tráfego Médio Diário(TMD)					Conservação		Operação			Total
	Carro	Ônibus	Caminhão	Total		Restauração	Manutenção	Carro	Ônibus	Caminhão	
<b>1995</b>	<b>423</b>	<b>12</b>	<b>760</b>	<b>1195</b>							
1996	436	13	783	1232							
1997	450	14	807	1271							
1998	464	15	832	1311							
1999	478	16	857	1351							
2000	493	17	883	1393							
2001	508	18	910	1436	2,30	0,00	0,00	31.222,93	4.978,48	247.301,32	283.502,73
2002	524	19	938	1481	2,30	0,00	0,00	32.206,33	5.255,07	254.910,59	292.371,99
2003	540	20	967	1527	2,30	0,00	0,00	33.189,73	5.531,65	262.791,63	301.513,01
2004	557	21	997	1575	2,30	0,00	0,00	34.234,60	5.808,23	270.944,42	310.987,25
2005	574	22	1027	1623	2,40	0,00	0,00	35.558,32	6.109,55	281.418,14	323.086,01
2006	592	23	1058	1673	2,40	0,00	0,00	36.673,39	6.387,26	289.912,74	332.973,39
2007	610	24	1090	1724	2,40	0,00	0,00	37.788,46	6.664,97	298.681,37	343.134,80
2008	629	25	1123	1777	2,40	0,00	0,00	38.965,48	6.942,67	307.724,02	353.632,17
2009	648	26	1157	1831	2,50	0,00	0,00	40.457,31	7.249,62	319.655,40	367.362,33
2010	668	27	1192	1887	2,50	0,00	0,00	41.705,99	7.528,45	329.325,18	378.559,62
2011	689	28	1228	1945	2,50	0,00	0,00	43.017,11	7.807,28	339.271,25	390.095,64
2012	710	29	1265	2004	2,50	0,00	0,00	44.328,23	8.086,11	349.493,59	401.907,93
2013	732	30	1303	2065	2,60	0,00	0,00	46.057,40	8.398,68	362.936,87	417.392,95
2014	754	31	1343	2128	2,60	0,00	0,00	47.441,64	8.678,63	374.078,45	430.198,72
2015	777	32	1384	2193	2,60	0,00	0,00	48.888,80	8.958,59	385.498,57	443.345,96
2016	801	33	1426	2260	2,60	0,00	0,00	50.398,88	9.238,55	397.197,22	456.834,65
2017	826	34	1469	2329	2,70	0,00	0,00	52.373,17	9.556,74	412.494,23	474.424,14
2018	851	36	1514	2401	2,70	0,00	0,00	53.958,31	10.118,90	425.130,20	489.207,41
2019	877	38	1560	2475	2,70	0,00	0,00	55.606,86	10.681,06	438.046,97	504.334,89
2020	904	40	1607	2551	2,70	0,00	0,00	57.318,82	11.243,22	451.244,54	519.806,58

### **3.4.3. CUSTOS ECONÔMICOS**

#### **3.4.3.1. CUSTOS DE CONSTRUÇÃO**

Para a obtenção dos custos de construção por quilometro foram considerados; os custos de construção do revestimento, considerando os preços dos materiais, equipamentos e mão de obra; conforme planilhas de composição de custo para transporte de material, fornecimento e aplicação dos tipos de pavimentos propostos(CCP/WT e CCA/CBUQ):

- A) Levando-se em conta que os custos de conservação e operação, são calculados para a rodovia como um todo, e não em relação ao custo do melhoramento (recapeamento) proposto, avaliação feita por técnicos do Dersul, concluiu por um valor da ordem de R\$ 300.000,00 por quilometro (terraplanagem + revestimento/TSD), como o valor patrimonial atual do corpo estradal da rodovia, valor este, que será utilizado como base para compor o custo global do investimento, para a análise econômica.
  
- B) Pavimento de Concreto de Cimento Portland/Whitetopping (CCP/WT), com espessura de 17cm (R\$ 334.259,10/Km), dimensionado para a evolução do tráfego por um período de projeto, de 20 anos, conforme recomendado pela ABCP. (Ver Tabela 33).

<b>TABELA 33</b>							
<b>Custo Unitário de Serviços (em R\$/Km)</b>							
<b>CCP/WT</b>		<b>(e = 0,17 m)</b>			<b>Data: Nov/00</b>		
Equipamento	Modêlo	Quant	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
			Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdut	
Usina de concreto		1	1,00	0,00	569,13	56,12	569,13
Pá-carregadeira/pneu		1	0,50	0,50	97,14	44,70	70,92
Régua Vibratória		1	1,00	0,00	40,09	25,98	40,09
Caminhão Betoneira		2	0,64	0,36	108,56	56,32	179,51
Serra de Disco		1	0,20	0,80	3,29	2,33	2,52
Vibrador de Imersão		4	0,42	0,58	1,96	1,76	7,38
<b>A)Total</b>							<b>869,55</b>
Mão de Obra suplementar			Padrão Salarial(%)	Quant	Salário Base(h)	Custo Horário	
Mestre			465	1	3,18	17,97	
Pedreiro			305	2	0,87	7,05	
carpinteiro			110	2	0,91	3,82	
Servente			35	4	0,69	3,73	
<b>B)Total</b>							<b>32,57</b>
Materiais		Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário		
Cimento Portland		Kg	0,22	16000,0000	3.520,00		
Brita		m3	15,00	32,8000	492,00		
Areia		m3	9,30	20,4000	189,72		
Aditivo		Kg	1,77	25,5280	45,18		
Produto de Cura Química		Kg	2,63	10,1200	26,62		
Aço		Kg	0,62	61,6000	38,19		
Selante		Kg	12,13	1,2920	15,67		
Isolante		m2	0,27	40,0000	10,80		
Disco de serra		ud	195,00	0,0168	3,28		
Fôrma		m	1,48	11,4400	16,93		
<b>C)Total</b>							<b>4.358,39</b>
<b>D)Custo Horário Total (A+B+C)</b>							<b>5.260,51</b>
<b>E)Produção da Equipe</b>	<b>40,0000</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>F)Custo Unitário (D/E) R\$/m<sup>3</sup></b>			<b>131,51</b>	
Transporte (DMT < 80Km; y = 0,22x) R\$/t		DMT	Unidade	Custo	Quantidade	Custo Unitário	
Cimento Portland		50	t	11,00	0,40000	4,40	
Brita		1,35 t/m3	50	m3	11,00	1,10700	
Areia		1,52 t/m3	50	m3	11,00	0,77520	
<b>G)Total</b>							<b>29,37</b>
<b>H)Custo Unitário Total (F+G)R\$/m<sup>3</sup></b>							<b>160,88</b>
<b>F)Bonificação(DNER)</b>	<b>35,80 %</b>					<b>57,59</b>	
<b>Custo Unitário Total R\$/m<sup>3</sup></b>							<b>218,47</b>
<b>Custo/Km</b>	<b>L = 9,00 m</b>					<b>R\$ 334.259,10</b>	

C) Pavimento de Concreto de Cimento Asfáltico/Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CCA/CBUQ), será construído por etapas:

- iniciando-se, a título de regularização e reforço simultaneamente, com uma camada com espessura de 6cm (R\$ 182.849,40/Km) (ver Tabela 34), precedida de uma pintura de ligação (R\$ 9.090,00/Km) (ver Tabela 35), com um custo total de R\$ 191.939,40/Km.

<b>TABELA 34</b>							
<b>Custo Unitário de Serviços (em R\$/Km)</b>							
<b>CBUQ</b>		<b>(e = 0,06 m)</b>			<b>Data:</b>		<b>Nov/00</b>
Equipamento	Modêlo	Quant	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
			Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdut	
Usina de asfalto	UA2-30/40	1	1,00	0,00	619,98	67,09	619,98
Pá-carregadeira/pneu	924F	1	0,50	0,50	97,14	44,70	70,92
Vibro-acabadora/esteira	SA-114C	1	0,50	0,50	59,11	34,37	46,74
Rolo autopropelido/pneus	SP-8000	1	0,50	0,50	55,03	27,31	41,17
Rolo tanden	TH-10	1	0,40	0,60	49,67	24,56	34,60
<b>A)Total</b>							<b>813,41</b>
Mão de Obra suplementar			Padrão Salarial(%)	Quant	Salário Base(h)	Custo Horário	
Encarregado			465	2	1,65	18,65	
Servente			35	9	1,65	20,05	
<b>B)Total</b>							<b>38,70</b>
Materiais		Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário		
Cimento Asfáltico CAP85/100		t	619,00	2,80000	1.733,20		
Brita 1		m3	14,19	23,00000	326,37		
Areia média		m3	3,03	14,70000	44,54		
Pó de pedra (filler)		t	183,00	1,20000	219,60		
<b>C)Total</b>							<b>2.323,71</b>
<b>D)Custo Horário Total (A+B+C)</b>							<b>3.175,82</b>
<b>E)Produção da Equipe</b>		<b>40,0000</b>	<b>t/h</b>	<b>F)Custo Unitário (D/E) R\$/t</b>			<b>79,40</b>
Transporte (DMT < 80Km; y = 0,22x) R\$/t		DMT	Unidade	Custo	Quantidade	Custo Unitário	
Cimento Asfáltico CAP85/100		50	t	11,00	0,07000	0,77	
Brita 1		1,35 t/m3	50	m3	11,00	0,77625	11,53
Areia média		1,52 t/m3	50	m3	11,00	0,55860	6,14
Pó de pedra (filler)			50	t	11,00	0,03000	0,33
<b>G)Total</b>							<b>18,77</b>
<b>H)Custo Unitário Total (F+G) R\$/t</b>							<b>98,17</b>
<b>I)fator de conversão (1m3 = 2,540t)</b>				<b>Custo Unitário (D/E) R\$/m3</b>			<b>249,35</b>
<b>F)Bonificação(DNER)</b>		<b>35,80 %</b>					<b>89,26</b>
<b>Custo Unitário Total R\$/m3</b>							<b>338,61</b>
<b>Custo/Kilometro</b>		<b>L = 9,00 m</b>			<b>R\$ 182.849,40</b>		

<b>TABELA 35</b>		
Custo Unitário de Serviços – 1° Capa (em R\$/Km)		
<b>Pintura de Ligação</b>		<b>Custo Unitário Total R\$/m2 1,01</b>
<i>Custo/Km</i>	<i>L = 9,00 m</i>	<i>R\$ 9.090,00</i>
<b>CBUQ</b>	<b>(e = 0,06 m)</b>	
<i>Custo/Km</i>	<i>L = 9,00 m</i>	<i>R\$ 182.849,40</i>
<i>Custo Total/Km</i>	<i>L = 9,00 m</i>	<i>R\$ 191.939,40</i>

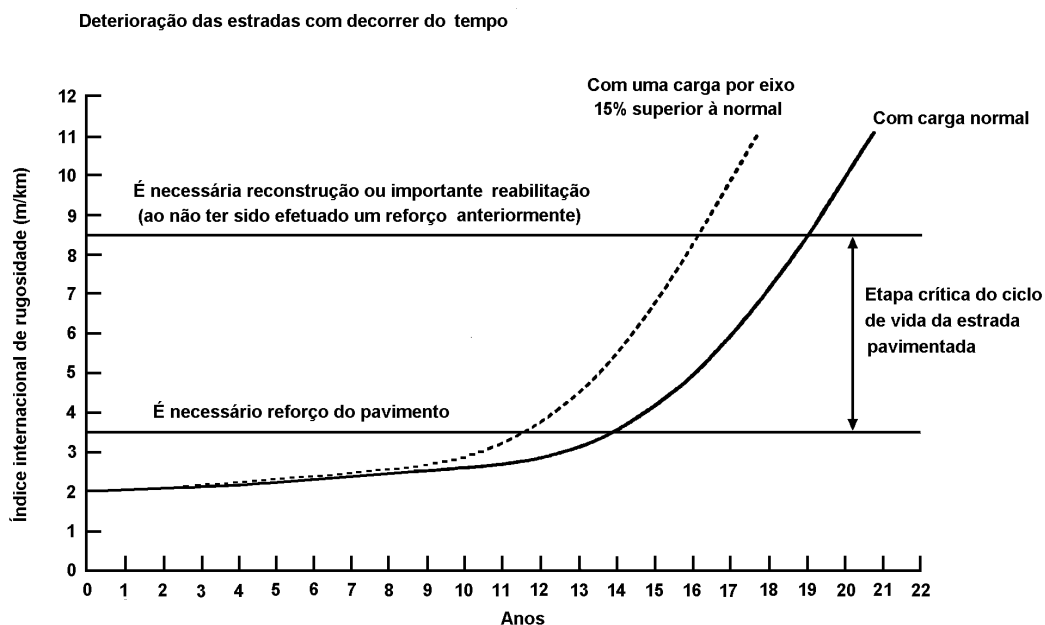
### 3.4.3.2. CUSTOS DE CONSERVAÇÃO

Como *custos de conservação* do pavimento da rodovia, pode-se classificá-los em dois tipos:

- A) *Custo de restauração ou reabilitação* do pavimento, são aqueles decorrentes da reabilitação periódica do pavimento, como por exemplo, *recapeamento*, com a finalidade de regularização e/ou reforço do pavimento.
- B) *Custo de manutenção*, que são aqueles decorrentes da necessidade de correções rotineiras, que recomponham aos pavimentos as condições mínimas de tráfego, desejáveis, como por exemplo serviços de *tapa-buracos; reparo de ondulações excessivas, desgastes superficiais, trincas etc.*

#### 3.4.3.2.1. PAVIMENTO ASFÁLTICO

Para o pavimento de Concreto Cimento Asfáltico (CCA/CBUQ), devido ao significativo grau de deterioração da superfície do pavimento com o decorrer do tempo (ver Figura 26), tornam-se necessárias, periódicas correções da superfície do mesmo, de modo que:



Nota: Os dados se baseiam nas seguintes considerações: pavimento de concreto asfáltico (número estrutural = 3,5); TMD = 2.500 veículos; precipitação pluvial = 120 mm/mês e manutenção mínima.

**FIGURA 26**

*Fonte:* Road deterioration in developing countries: causes and remedies/World Bank Publication/p.12

- a) Como *reabilitação* do pavimento asfáltico, está prevista, com a finalidade de correção do desgaste superficial, a cada intervalo de 6 anos (ver Figura 27), a aplicação, de uma camada com espessura de 3cm de CBUQ (R\$ 91.424,70/Km), (ver Tabela 36), precedida de *fresagem* de 2cm (R\$ 14.409,00/Km) e *pintura de ligação* (R\$ 9.090,00/Km), (ver Tabela 37), totalizando, três camadas ao longo dos 20 anos do estudo, com um custo total de R\$ 114.923,70/Km por camada.



Deterioração da rodovia (BR-262/Miranda-Morro do Azeite) no decorrer do período estudado

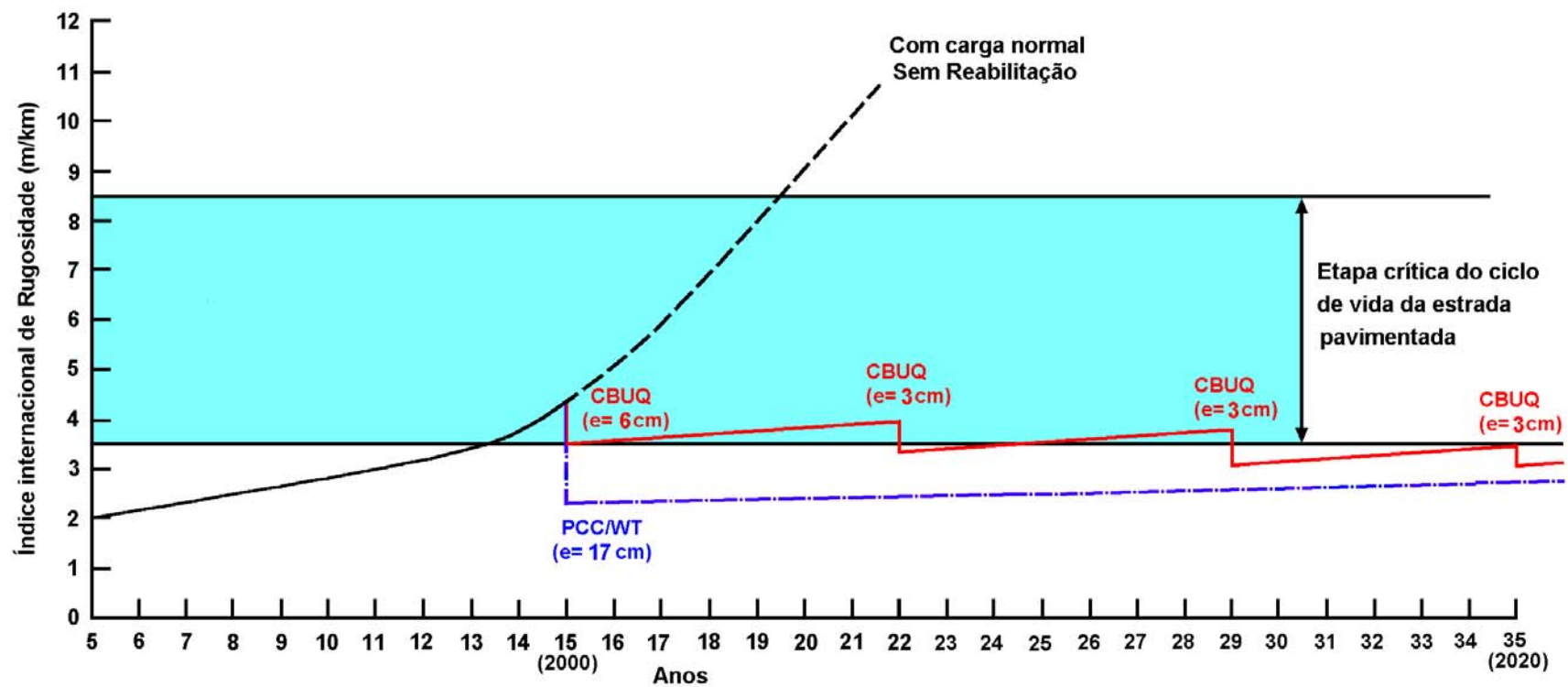


FIGURA 27

**TABELA 36****Custo Unitário de Serviços (em R\$/Km)****CBUQ** (e = 0,03 m) **Data:** Nov/00

Equipamento	Modêlo	Quant	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
			Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdut	
Usina de asfalto	UA2-30/40	1	1,00	0,00	619,98	67,09	619,98
Pá-carregadeira/pneu	924F	1	0,50	0,50	97,14	44,70	70,92
Vibro-acabadora/esteira	SA-114C	1	0,50	0,50	59,11	34,37	46,74
Rolo autopropelido/pneus	SP-8000	1	0,50	0,50	55,03	27,31	41,17
Rolo tanden	TH-10	1	0,40	0,60	49,67	24,56	34,60
<b>A)Total</b>							<b>813,41</b>

Mão de Obra suplementar	Padrão Salarial(%)	Quant	Salário Base(h)	Custo Horário
Encarregado	465	2	1,65	18,65
Servente	35	9	1,65	20,05
<b>B)Total</b>				<b>38,70</b>

Materiais	Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Cimento Asfáltico CAP85/100	t	619,00	2,80000	1.733,20
Brita 1	m3	14,19	23,00000	326,37
Areia média	m3	3,03	14,70000	44,54
Pó de pedra (filler)	t	183,00	1,20000	219,60
<b>C)Total</b>				<b>2.323,71</b>

**D)Custo Horário Total (A+B+C) 3.175,82****E)Produção da Equipe 40,000 t/h F)Custo Unitário (D/E) R\$/t 79,40**

Transporte (DMT < 80Km; y = 0,22x) R\$/t	DMT	Unidade	Custo	Quantidade	Custo Unitário
Cimento Asfáltico CAP85/100	50	t	11,00	0,07000	0,77
Brita 1	1,35 t/m3	50	11,00	0,77625	11,53
Areia média	1,52 t/m3	50	11,00	0,55860	6,14
Pó de pedra (filler)	50	t	11,00	0,03000	0,33
<b>G)Total</b>					<b>18,77</b>

**H)Custo Unitário Total (F+G) R\$/t 98,17****I)fator de conversão (1m3 = 2,540t) Custo Unitário (D/E) R\$/m3 249,35****F)Bonificação(DNER) 35,80 % 89,26****Custo Unitário Total R\$/m3 338,61****Custo/Kilometro L = 9,00 m R\$ 91.424,70**

<b>TABELA 37</b>			
<b>Custo Unitário de Serviços – 2º,3º e 4º Capa (em R\$/Km)</b>			
<b>Fresagem</b>	<b>(e = 0,02 m)</b>	<b>Custo Unitário Total R\$/m3</b>	<b>80,05</b>
<b>Custo/Km</b>	<b>L = 9,00 m</b>		<b>R\$ 14.409,00</b>
<b>Pintura de Ligação</b>		<b>Custo Unitário Total R\$/m2</b>	<b>1,01</b>
<b>Custo/Km</b>	<b>L = 9,00 m</b>		<b>R\$ 9.090,00</b>
<b>CBUQ</b>	<b>(e = 0,03 m)</b>		
<b>Custo/Km</b>	<b>L = 9,00 m</b>		<b>R\$ 91.424,70</b>
<b>Custo Total/Km</b>	<b>L = 9,00 m</b>		<b>R\$ 114.923,70</b>

Portanto estas reabilitações ocorrerão respectivamente nos anos, 2007, 2014 e 2020, deste modo a espessura do pavimento flexível será, após a última reabilitação, em (2020) igual a 9cm.

- b) Como *manutenção* do pavimento asfáltico, está previsto um custo mensal que, em termos internacionais este custo mensal genericamente pode variar em torno de US\$ 1.348 /Km<sup>(34)</sup>, considerando US\$ 1= R\$ 1,95; obtêm-se um custo mensal da ordem de R\$ 2.628,60/Km, valor médio mensal praticado pelo DERSUL, nos mais recentes contratos de *concessão* para conservação de pavimentos asfálticos, de rodovias em regular estado de conservação (IRI = 3,6), para serviços de manutenção rotineira, no estado de Mato Grosso do Sul, é de cerca de R\$ 2.500,00/Km. Para efeito deste estudo será considerado o valor mensal de R\$ 2.628,60/Km, que representa um custo anual de R\$ 31.543,20/Km, variando proporcionalmente ao valor do IRI.

#### **3.4.3.2.2. PAVIMENTO DE CIMENTO PORTLAND**

Para o pavimento de Concreto de Cimento Portland (CCP/WT), considerando, como já foi anteriormente estabelecido, uma variação do IRI de 2,3 até 2,7m/Km ao longo do período, não será considerada a necessidade de previsão de custos significativos para conservação desse pavimento no período.

A tabela 38, representa uma síntese dos custos de construção e reabilitações previstas para os pavimentos no decorrer do período em estudo (2000-2020).

<b>TABELA 38</b>		
<b>Resumo dos Custos de Construção<sup>(*)</sup></b>		
<b>Etapas Construtivas</b>	<b>Pavimento</b>	
	<b>Flexível</b>	<b>Rígido</b>
Constr. Inicial	191.939,40	334.259,10
1. Etapa (2007)	114.923,70	0,00
2. Etapa (2014)	114.923,70	0,00
3. Etapa (2020)	114.923,70	0,00
<b>Total</b>	<b>536.710,50</b>	<b>334.259,10</b>

(\*) Valor Corrente, em R\$/Km

### 3.4.4. ANÁLISE DE CUSTO E BENEFÍCIO

Para a obtenção do *Benefício de Conservação*, ou de *redução nos custos de conservação da via*, procede-se como a seguir:

- Conhecendo-se os custos de *Operação* e de *Conservação* da rodovia, decorrentes de cada uma das hipóteses de melhoramento propostas, (ver Tabela 31 e 32);
- A diferença entre tais custos constitui o *Benefício* procurado; os benefícios decorrentes das reabilitações são considerados negativos, que em última análise representam a *despesa necessária à conservação dos melhoramentos implementados*.

#### 3.4.4.1. ATUALIZAÇÃO DE VALORES (Fator de Valor Presente - FVP)

Quanto à *taxa de desconto*, a ser considerada, segundo o que foi decidido na *Fase II* do “Estudo de Transportes do Brasil”, desenvolvido pelo GEIPOT, a utilização do *custo de oportunidade de capital* ou (FVP), deve ser igual a 10%, baseado na experiência de outros países em fase de transição para modernas economias industriais.

Portanto, para efeito deste *estudo de caso*, passa-se a considerar o *custo de oportunidade de capital* como  $(r_{op}) = 10\%$ .

Neste contexto, foram elaboradas as tabelas 39 e 40, a seguir, que representam as *análises econômica individual* de cada uma das alternativas em estudo, e onde foram apurados os valores dos *Benefícios* acumulados, em termos de *Valor Corrente*, R\$ 8.544.305,08/Km para a alternativa de Pavimento Flexível, e R\$ 7.814.672,17/Km para a alternativa de Pavimento Rígido, e também em termos de *Valor Presente*, as relações de Custo e Benefício (B-C) e as respectivas TIRs .

**TABELA 39****Análise Econômica****Alternativa: Pavimento Flexível Proposto(CCA/CBUQ) em R\$/Km**

Ano	Custos			Benefícios						
	Construção			Conservação		Operação			Total	
	Valor Corrente	FVP=10%	Valor Presente	Restauração	Manutenção	Carro	Ônibus	Caminhão	Valor Corrente	Valor Presente
2000	491.939,40	1,0000	491.939,40							
2001		0,9091		0,00	30.667,39	34.184,53	5.221,38	271.979,55	342.052,85	310.960,25
2002		0,8265		0,00	30.667,39	35.261,21	5.511,45	280.348,15	351.788,20	290.752,95
2003		0,7514		0,00	31.543,60	36.600,23	5.824,02	291.200,96	365.168,81	274.387,84
2004		0,6831		0,00	31.543,60	37.752,46	6.115,22	300.235,12	375.646,40	256.604,06
2005		0,6210		0,00	32.419,81	39.183,56	6.431,16	311.590,20	389.624,73	241.956,96
2006		0,5645		0,00	32.419,81	40.412,31	6.723,48	320.995,55	400.551,15	226.111,12
2007		0,5132		-114.923,70	0,00	40.455,65	6.907,86	320.851,09	253.290,90	129.988,89
2008		0,4665		0,00	29.791,18	42.021,32	7.223,80	333.102,81	412.139,11	192.262,89
2009		0,4241		0,00	29.791,18	43.290,65	7.512,75	343.187,85	423.782,43	179.726,13
2010		0,3855		0,00	30.667,39	44.951,31	7.832,06	356.263,32	439.714,08	169.509,78
2011		0,3505		0,00	30.667,39	46.364,45	8.122,14	367.022,95	452.176,93	158.488,01
2012		0,3186		0,00	30.667,39	47.777,59	8.412,22	378.081,46	464.938,66	148.129,46
2013		0,2896		0,00	31.543,60	49.613,65	8.736,03	392.383,51	482.276,79	139.667,36
2014		0,2633		-114.923,70	0,00	49.639,52	8.887,79	392.288,81	335.892,42	88.440,47
2015		0,2394		0,00	28.038,76	51.153,72	9.174,49	404.264,86	492.631,83	117.936,06
2016		0,2176		0,00	28.914,97	53.122,91	9.498,31	419.755,65	511.291,84	111.257,10
2017		0,1978		0,00	28.914,97	54.780,92	9.786,13	432.413,08	525.895,10	104.022,05
2018		0,1798		0,00	29.791,18	56.852,38	10.402,27	449.080,73	546.126,56	98.193,56
2019		0,1635		0,00	29.791,18	58.589,35	10.980,17	462.725,19	562.085,89	91.901,04
2020		0,1486		-114.923,70	0,00	58.636,38	11.378,16	462.139,56	417.230,40	62.000,44
<b>Soma</b>			<b>491.939,40</b>						<b>8.544.305,08</b>	<b>3.392.296,42</b>
				<b>B-C= 8,05E+06</b>			<b>TIR = 72,13%</b>			

**TABELA 40****Análise Econômica****Alternativa: Pavimento Rígido Proposto(CCP/WT) em R\$/Km**

Ano	Custos			Benefícios								
	Construção			Manutenção		Operação			Total			
	Valor Corrente	FVP=10%	Valor Presente	Restauração	Conservação	Carro	Ônibus	Caminhão	Valor Corrente	Valor Presente		
2000	634.259,10	1,0000	634.259,10									
2001		0,9091		0,00	0,00	31.222,93	4.978,48	247.301,32	283.502,73	257.732,33		
2002		0,8265		0,00	0,00	32.206,33	5.255,07	254.910,59	292.371,99	241.645,45		
2003		0,7514		0,00	0,00	33.189,73	5.531,65	262.791,63	301.513,01	226.556,88		
2004		0,6831		0,00	0,00	34.234,60	5.808,23	270.944,42	310.987,25	212.435,39		
2005		0,6210		0,00	0,00	35.558,32	6.109,55	281.418,14	323.086,01	200.636,41		
2006		0,5645		0,00	0,00	36.673,39	6.387,26	289.912,74	332.973,39	187.963,48		
2007		0,5132		0,00	0,00	37.788,46	6.664,97	298.681,37	343.134,80	176.096,78		
2008		0,4665		0,00	0,00	38.965,48	6.942,67	307.724,02	353.632,17	164.969,41		
2009		0,4241		0,00	0,00	40.457,31	7.249,62	319.655,40	367.362,33	155.798,36		
2010		0,3855		0,00	0,00	41.705,99	7.528,45	329.325,18	378.559,62	145.934,73		
2011		0,3505		0,00	0,00	43.017,11	7.807,28	339.271,25	390.095,64	136.728,52		
2012		0,3186		0,00	0,00	44.328,23	8.086,11	349.493,59	401.907,93	128.047,87		
2013		0,2896		0,00	0,00	46.057,40	8.398,68	362.936,87	417.392,95	120.877,00		
2014		0,2633		0,00	0,00	47.441,64	8.678,63	374.078,45	430.198,72	113.271,32		
2015		0,2394		0,00	0,00	48.888,80	8.958,59	385.498,57	443.345,96	106.137,02		
2016		0,2176		0,00	0,00	50.398,88	9.238,55	397.197,22	456.834,65	99.407,22		
2017		0,1978		0,00	0,00	52.373,17	9.556,74	412.494,23	474.424,14	93.841,09		
2018		0,1798		0,00	0,00	53.958,31	10.118,90	425.130,20	489.207,41	87.959,49		
2019		0,1635		0,00	0,00	55.606,86	10.681,06	438.046,97	504.334,89	82.458,75		
2020		0,1486		0,00	0,00	57.318,82	11.243,22	451.244,54	519.806,58	77.243,26		
Soma			634.259,10						7.814.672,17	3.015.740,76		
			<b>B-C= 7,18E+06</b>								<b>TIR = 47,88%</b>	

#### **3.4.4.2. ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA.**

Na seqüência, elaborou-se as Tabelas 41 e 42, que representam as *análises econômica comparativas*, entre as alternativas, onde os valores contidos nas colunas *Reduções*, representam, a diferença de *custos* e de *Benefícios* individuais, apurando-se desta forma, as *reduções obtidas nos custos de construção e de Conservação/operação*, e que vem a representar, *o valor que deixaria de ser gasto pelos usuários ao longo dos 20 anos*, *reduções* essas, que influenciam significativamente nos custos do transporte no País.

Apurou-se, em termos de *Valor Corrente*, um total de Benefício Líquido de R\$ - 729.632,91/Km (prejuízo) com a opção pela alternativa de Pavimento Flexível, e um Benefício Líquido de R\$ 729.632,91/Km (lucro) para a opção pela alternativa de Pavimento Rígido.



<b>TABELA 41</b>						
<b>Análise Econômica Comparativa</b>						
<b>Alternativa: Pavimento Flexível(CBUQ) em R\$/Km</b>						
<b>Ano</b>	<b>Construção</b>			<b>Conservação/Operação</b>		
	<b>Custos</b>		<b>Reduções</b>	<b>Custos</b>		<b>Reduções</b>
	<b>CBUQ</b>	<b>CCP/WT</b>	<b>CUSTO</b>	<b>CBUQ</b>	<b>CCP/WT</b>	<b>BENEFÍCIO</b>
2000	491.939,40	634.259,10	142.319,70			
2001				342.052,85	283.502,73	-58.550,12
2002				351.788,20	292.371,99	-59.416,21
2003				365.168,81	301.513,01	-63.655,80
2004				375.646,40	310.987,25	-64.659,15
2005				389.624,73	323.086,01	-66.538,72
2006				400.551,15	332.973,39	-67.577,76
2007				253.290,90	343.134,80	89.843,90
2008				412.139,11	353.632,17	-58.506,94
2009				423.782,43	367.362,33	-56.420,10
2010				439.714,08	378.559,62	-61.154,46
2011				452.176,93	390.095,64	-62.081,29
2012				464.938,66	401.907,93	-63.030,73
2013				482.276,79	417.392,95	-64.883,84
2014				335.892,42	430.198,72	94.306,30
2015				492.631,83	443.345,96	-49.285,87
2016				511.291,84	456.834,65	-54.457,19
2017				525.895,10	474.424,14	-51.470,96
2018				546.126,56	489.207,41	-56.919,15
2019				562.085,89	504.334,89	-57.751,00
2020				417.230,40	519.806,58	102.576,18
<b>Soma</b>	<b>491.939,40</b>	<b>634.259,10</b>	<b>142.319,70</b>	<b>8.544.305,08</b>	<b>7.814.672,17</b>	<b>-729.632,91</b>
<b>B-C = -587.313,21</b>			<b>TIR = 38,35%</b>			

<b>TABELA 42</b>						
<b>Análise Econômica Comparativa</b>						
<b>Alternativa: Pavimento Rígido(CCP/WT) em R\$/Km</b>						
<b>Ano</b>	<b>Construção</b>			<b>Conservação/Operação</b>		
	<b>Custos</b>		<b>Reduções</b>	<b>Custos</b>		<b>Reduções</b>
	<b>CCP/WT</b>	<b>CBUQ</b>	<b>CUSTO</b>	<b>CCP/WT</b>	<b>CBUQ</b>	<b>BENEFÍCIO</b>
2000	634.259,10	491.939,40	-142.319,70			
2001				283.502,73	342.052,85	58.550,12
2002				292.371,99	351.788,20	59.416,21
2003				301.513,01	365.168,81	63.655,80
2004				310.987,25	375.646,40	64.659,15
2005				323.086,01	389.624,73	66.538,72
2006				332.973,39	400.551,15	67.577,76
2007				343.134,80	253.290,90	-89.843,90
2008				353.632,17	412.139,11	58.506,94
2009				367.362,33	423.782,43	56.420,10
2010				378.559,62	439.714,08	61.154,46
2011				390.095,64	452.176,93	62.081,29
2012				401.907,93	464.938,66	63.030,73
2013				417.392,95	482.276,79	64.883,84
2014				430.198,72	335.892,42	-94.306,30
2015				443.345,96	492.631,83	49.285,87
2016				456.834,65	511.291,84	54.457,19
2017				474.424,14	525.895,10	51.470,96
2018				489.207,41	546.126,56	56.919,15
2019				504.334,89	562.085,89	57.751,00
2020				519.806,58	417.230,40	-102.576,18
<b>Soma</b>	<b>634.259,10</b>	<b>491.939,40</b>	<b>-142.319,70</b>	<b>7.814.672,17</b>	<b>8.544.305,08</b>	<b>729.632,91</b>
<b>B-C =</b>			<b>587.313,21</b>	<b>TIR = 38,35%</b>		

<b>TABELA 43</b>					
<b>Análise Econômica Comparativa – Resumo (20 anos)</b>					
<b>Alternativa</b>	<b>Reduções nos Custos (R\$/Km)</b>		<b>POUPANÇA LÍQUIDA</b>		
	<b>Construção</b>	<b>Conservação/Operação</b>	<b>em 1 Km</b>	<b>em 97,389 Km</b>	<b>TIR</b>
	<b>CUSTO</b>	<b>BENEFÍCIO</b>	<b>Valor(R\$)</b>	<b>Total(R\$)</b>	
<b>CCP/WT(*)</b>	-142.319,70	729.632,91	587.313,21	<b>57.197.846,21</b>	38,35%
<b>CCP/WT(**)</b>	-142.319,70	376.543,94	234.224,24	<b>22.810.864,51</b>	
<b>CCA/CBUQ(*)</b>	142.319,70	-729.632,91	-587.313,21		

(\*) Base Valor Corrente

(\*\*) Base Valor Presente

### 3.4.4.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

#### 3.4.4.3.1 INTRODUÇÃO

O Método conhecido como *Análise de Sensibilidade*, consiste em incluir o *risco* na avaliação de um projeto, considerar o risco na tomada de decisões, é variar numa certa faixa, as estimativas dos parâmetros mais sujeitos às *incertezas*, e observar o que acontece com a rentabilidade do projeto. Na prática, consiste em considerar o fator *Risco* ou *Incerteza* na análise do *fluxo de caixa*<sup>(25)</sup>.

Considerando que os valores obtidos de *custos* e *benefícios*, são meramente *estimativos*, ou *esperados*, podendo na prática sofrer variações de 10, 20 ou até mesmo 50% (em países imprevisíveis como o nosso). Além disso, os *prazos*, também podem sofrer atrasos no início da execução do projeto, e ainda, que os investimentos também podem sofrer alterações nas datas de efetivação.

Para que essas imprevisíveis flutuações de parâmetros importantes na avaliação de um empreendimento, não introduzam um nível indesejável de incerteza sobre o fluxo futuro de benefícios e custos, algumas considerações nesse sentido devem ser implementadas. Infelizmente, a literatura disponível sobre a questão é bastante escassa, e essas considerações se baseiam muito mais no bom-senso.

O risco das previsões afeta principalmente os projetos de duração mais longa. E quanto mais avançadas as previsões para o futuro, maior a incerteza quanto às estimativas. Foi pensando em resolvê-lo, ou pelo menos em minimizar seus efeitos, que David Hertz, lançou em 1964<sup>(35)</sup>, uma idéia original, chamada por ele de Análise de Risco (Risk Analysis). Que consistia em criar centenas de fluxos de caixa semelhantes ao originalmente proposto, sendo que cada um deles teria as suas entradas e saídas variadas aleatoriamente, de acordo com as distribuições de *probabilidades* previamente fornecidas pelos analistas que construíram o fluxo de caixa.

Para cada fluxo assim simulado, seria determinada a TIR (ou outros parâmetros financeiros convenientes) pelas vias convencionais. O resultado final não mais

seria a determinação de uma única TIR (como é feito convencionalmente), mas sim o aparecimento de centenas de TIRs, as quais, devidamente transformadas em um histograma, indicariam ao executivo financeiro, quais as TIRs possíveis de serem verificadas na prática, bem como as chances de suas ocorrências.

Dessa forma o administrador poderia tomar uma decisão bem mais acertada, pois teria em mãos não somente a TIR "esperada", mas também os *riscos* envolvidos do empreendimento. A simulação explicava também porque a TIR verificada na prática geralmente não coincidia com a TIR única obtida na análise convencionalmente feita até então.

Quando as empresas mais dinâmicas resolveram implementar a nova técnica de tomada de decisões, depararam-se logo com um problema: como determinar as distribuições de probabilidades para as entradas e saídas do Fluxo de Caixa? A dificuldade era semelhante a definir as probabilidades de a inflação no próximo mês ser de 5, 10, 15, 20, 25, 30% etc. Mesmo que se diga que a chance de ser 30% seja de 40%, por exemplo, ainda resta a dúvida: que quer dizer 40% de chance? E como este valor deve ser obtido?

Nem mesmo os estatísticos souberam responder com certeza, que quer dizer esse "40% de chance", chegando mesmo a haver várias "Escolas de Pensamento", cada uma dando uma interpretação diferente a esse número. Como conseqüência, o modelo foi aos poucos perdendo aceitação.

Com o passar dos anos, os pesquisadores foram verificando que as famosas "curvas de probabilidade" não eram assim tão indispensáveis e o risco poderia ser analisado a contento, bastando que se fornecesse a *faixa de variação* associada a cada elemento do fluxo, bem como de seus *prazos*. Assim, ao invés de se definir a distribuição de probabilidades de um investimento inicial, digamos, bastaria que o analista informasse qual a margem de valores possíveis de serem verificados na prática.

Por exemplo, poder-se-ia simplesmente fornecer ao modelo, os dados 10.000 unidades monetárias, + ou - 20%. Desse modo, a incerteza seria expressa por

20% de margem de erro no valor do investimento. Sem dúvida um dado muito mais fácil de ser conseguido nas empresas, além de ser mais claro seu significado. Diga-se, de passagem, que essa maneira de apresentar um resultado numérico é, de há muito, utilizada pelos engenheiros e físicos, dentro do que se chama "Teoria dos Erros".

Com essa nova maneira de definir a *incerteza*, aliás ditada pelo bom senso, o modelo de simulação pode ser executado sem dificuldades, e até mais rapidamente. Assim, a mesma idéia de Hertz, mas agora sem as problemáticas probabilidades, acabou por ganhar uma aceitação mais ampla entre os executivos americanos, tornando-se hoje em dia um lugar-comum em finanças. A essa técnica adaptada para a realidade empresarial, deu-se o nome de *Análise de Sensibilidade*.

Atualmente, essa metodologia é aplicada não apenas em finanças, mas em muitas outras áreas profissionais, tais como Sociologia, Recursos Humanos, Auditoria, Contabilidade, Engenharia, Economia, Medicina etc.

#### **3.4.4.3.2 MÉTODO PRÁTICO DE APLICAÇÃO**

Os resultados abaixo indicados foram obtidos com o software SENSIBIL<sup>(35)</sup>, (um modelo de Análise de Sensibilidade por Simulação, desenvolvido por Antônio Carlos M. Mattos/89), onde são calculados 500 fluxos de caixa diferentes.

Os itens abaixo refletem os dados que foram considerados como entrada para o software SENSIBIL, e tabulados, conforme se pode ver no Anexo 4 (p.135, ANEXOS.

- para os *fluxos de caixa*, foram considerados os valores de *custos* e *benefícios* para cada alternativas individualmente, bem como para a diferença, as *Reduções*.
- para os *custos*, foi associada uma incerteza de 15%;
- para os *benefícios*, supôs-se um erro máximo de 30% nas estimativas iniciais.

- quanto aos prazos, foi estimado um *atraso* máximo de 2 anos para o lançamento do projeto.
- com relação às *taxas de juros reais* (taxa de desconto), a vigorar nos próximos 20 anos foi admitido, que oscilarão entre 5 e 15% ao ano (média 10%).

Os relatórios apresentados conforme os Anexos 1,2 e 3, (p.129,131 e 133, ANEXOS), refletem os resultados obtidos com o software SENSIBIL.

A simulação, SENSIBIL, mostra os três parâmetros financeiros mais comuns, obtidos diretamente do fluxo inicial: o Payback Financeiro, o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR. As tabelas 44 e 45, abaixo fornecem a síntese dos resultados de VPL e TIR, para os quais pode-se observar:

<b>Tabela 44</b>				
<b>Análise de Sensibilidade: Síntese</b>				
<b>Alternativa</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Convencional</b>	<b>Médio</b>	<b>Faixa de Variação</b>
CBUQ	VPL (R\$)	2.900.357,02	2.785.082,12	2.127.272,90 a 3.638.171,90
	TIR (% a/a)	72,13	69,76	37,10 a 98,30
CCP/WT	VPL (R\$)	2.381.481,66	2.286.423,62	1.609.416,90 a 3.421.260,70
	TIR (% a/a)	47,88	46,04	30,30 a 67,20
LÍQUIDO	VPL (R\$)	234.224,24	225.750,70	111.340,40 a 325.240,40
	TIR (% a/a)	38,35	37,12	19,00 a 54,10

- quanto aos *valores médios*, sofrem alteração, não tendo porem, apresentado grandes discrepâncias em relação aos valores calculados pelo método convencional;
- quanto as *dispersões*, o percentual de casos que mais se aproximam dos valores calculados pelo método convencional, giram em torno da metade, isto, entretanto, não significa que os projetos devam ser necessariamente recusados, mas sim, que há uma boa chance de não produzir os resultados esperados. Em outras palavras, é que existe uma boa margem de *risco*.

<b>Tabela 45</b>			
<b>Análise de Sensibilidade: Dispersão</b>			
<b>Alternativa</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Convencional</b>	<b>% de Casos</b>
CBUQ	VPL (R\$)	2.900.357,02	39,00
	TIR (% a/a)	72,13	46,60
CCP/WT	VPL (R\$)	2.381.481,66	48,00
	TIR (% a/a)	47,88	46,40
LÍQUIDO	VPL (R\$)	234.224,24	47,20
	TIR (% a/a)	38,35	47,80

## CONCLUSÕES

Analisando-se a Tabela 43, que representa um resumo dos valores totais passíveis de serem adotados como base para critérios de decisão para escolha do investimento, pode-se considerar normalmente os seguintes modelos decisórios:

- *Diferença Benefício-Custo (Poupança ou Benefício Social Líquido);*

Verifica-se que para a alternativa do Pavimento Flexível, a poupança  $\Delta(B - C)$ , é negativa (R\$ -587.313,21/Km), significando um *Prejuízo*, o que caracteriza que sob este *enfoque*, a mesma deve ser rejeitada, enquanto para a alternativa do Pavimento Rígido, a poupança  $\Delta(B - C)$ , é positiva (R\$ 587.313,21/Km), o que representa um *Lucro*, portanto opta-se pela aceitação deste empreendimento.

- *Taxa Interna de Retorno;*

Observa-se que a alternativa do Pavimento Flexível, apresenta uma TIR de 72,13%, e o Pavimento Rígido, apresenta uma TIR de 47,88%, portanto, ambas maiores que a taxa do *Custo de Oportunidade de Capital* (10%), (ver Tabela 39 e 40), sob este prisma, ambas opções poderiam ser aceitas para o empreendimento em pauta.

- *Total de Reduções em Valor Corrente;*

Verifica-se que a alternativa do Pavimento Rígido apresenta o maior *Total de Reduções em Valor Corrente* (R\$ 587.313,21/Km), portanto sob este *enfoque* o mesmo deve ser o escolhido.

- *Total de Reduções em Valor Presente;*

Verifica-se também que a alternativa do Pavimento Rígido apresenta maior *Total de Reduções em Valor Presente* (R\$ 234.224,24/Km), portanto sob este *enfoque* o mesmo deve ser o escolhido.

- *Custo Inicial (Construção/Restauração).*

Levando-se em conta que, que o bom administrador deva se preocupar em garantir não só os recursos financeiros necessários para a execução da fase inicial da obra (1º ano), como também para as futuras etapas construtivas previstas ao longo da vida útil do projeto, sem contudo onerar os orçamentos futuros, é de fundamental importância a previsão e imobilização de recursos financeiros, no ano da execução do projeto, no montante suficiente para garantir disponibilidade de capital, na época da execução das futuras etapas previstas de construção (restauração do pavimento), neste contexto, verifica-se que a alternativa do *Pavimento Rígido* apresenta menor *Valor Total Inicial* (R\$ 334.259,10/Km), portanto, sob este *enfoque* o mesmo se apresenta mais vantajoso, ver tabela 46.

<b>Ano</b>	<b>Plano de Aplicação de Recursos</b>		<b>Custo (R\$/Km)</b>	
			<b>Tipo de pavimento</b>	
	<b>Financeira</b>	<b>Física</b>	<b>Flexível</b>	<b>Rígido</b>
2000	Desembolso Imediato	Constr. Inicial	191.939,40	334.259,10
	Imobilização de Capital	1. Etapa (2007)	114.923,70	0,00
		2. Etapa (2014)	114.923,70	0,00
		3. Etapa (2020)	114.923,70	0,00
<b>Valor Total Inicial</b>			<b>536.710,50</b>	<b>334.259,10</b>

Todavia a opção por uma ou outra alternativa econômica baseando-se nestes conceitos teóricos, na prática, como já foi dito, tem alguns fatores conjunturais limitativos a serem considerados, tais como, o *comprometimento de orçamentos futuros*, o *risco*, a *inflação*, a preferência pela *liquidez*, a *intervenção estatal*, as *políticas governamentais*, os *interesses políticos* e etc.



No objetivo de identificar os fatores que, direta ou indiretamente, contribuíram para o atual agravamento do estado de conservação da malha rodoviária pavimentada nacional, pode-se destacar:

- a premissa de que os *recursos* necessários para sua manutenção *estariam sempre disponíveis* no tempo e nos valores necessários, não havendo a preocupação com os orçamentos futuros;
- a premissa de que os *preços do asfalto se manteriam estáveis*, ou pelo menos dentro de patamares previsíveis, o que acabou não acontecendo;
- o elevado déficit público e o crescente endividamento nacional da última década, contribuíram decisivamente para uma *crônica escassez de recursos públicos* para investimento na conservação da malha rodoviária nacional;
- a aceitação pelos órgãos normativos, da *redução da vida útil dos projetos* e a utilização de *pavimentos de baixo custo*, empregados como fator determinante de menores custos iniciais;
- a *mentalidade imediatista dos governantes* de interligar, no menor prazo possível, todos os municípios às capitais, dispondo sempre de recursos insuficientes para atender as necessidades técnicas de durabilidade das obras;
- uma grande parte dos veículos de carga trafega com *peso superior* ao permitido pela legislação vigente, produzindo uma deterioração precoce dos pavimentos asfálticos;
- a falta de utilização de *sistemas de gerenciamento de pavimentos* adequados, como modelos de avaliação de desempenho dos pavimentos, tanto para conservação, como para análise de novos empreendimentos;
- a análise dos empreendimentos sempre como uma função somente do *custo inicial*, e não pelo custo global (*Análise de Custo de Ciclo de Vida*), onerando sempre os orçamentos futuros.

Quanto aos fatores que motivaram para que a utilização dos pavimentos de concreto, no Brasil, não tivesse um desenvolvimento contínuo nas últimas quatro décadas pode-se destacar:

- que o argumento de que é *mais caro* está sempre associado à mentalidade do *desembolso inicial* do que ao *custo global* do empreendimento;
- a *pouca experiência* de seu uso no Brasil, em comparação com outros tipos de pavimentos;
- a *tímida abordagem* da tecnologia de pavimentos rígidos, nos cursos de engenharia civil.

Quanto aos fatores que se manifestam atualmente no sentido de uma inversão nessa tendência, pode-se destacar:

- a visão empresarial da iniciativa privada, através das *concessões*, mais preocupada com *custo global (Análise de Custo de Ciclo de Vida)*, como alicerce de uma política de investimentos de longo prazo, do que somente com o *custo inicial* do empreendimento;
- os preços relativos mais *competitivos* dos pavimentos de concreto de cimento Portland, em função da evolução desproporcional dos custos dos pavimentos de cimento asfáltico;
- busca de alternativas tecnológicas de rodovias mais duráveis, face a crônica escassez de recursos do setor público para os investimentos indispensáveis na conservação dos pavimentos asfálticos.

Quanto à aplicabilidade deste trabalho, considere-se que recentemente, foi inaugurada a chamada *Ponte Sobre o Rio Paraguai*, importante obra de Concreto de Cimento Portland, localizada na interseção da rodovia BR-262 com o Rio Paraguai, rodovia objeto deste trabalho, na região denominada Porto Morrinho, com 1.755m de comprimento e 120m de vão central, que vem equacionar um importante gargalo do transporte rodoviário na região, onde até então esta

travessia era feita através de balsas, onde o tempo médio de espera podia chegar até cerca de 4 horas entre as filas de embarque e o efetivo percurso de travessia, isto em boas condições meteorológicas no local.

Face a realização desta importante benfeitoria, sabe-se que o Governo do Estado de Mato Grosso do Sul, encaminhou ofício ao Senhor Ministro dos Transportes, no sentido de sensibiliza-lo para a necessidade da recuperação da superfície de rolamento desta rodovia, que se encontra atualmente em condições precárias de tráfego, tentando viabilizar recursos federais para o seu recapeamento, de modo que a mesma possa assumir, em definitivo, o seu destino de importante via terrestre de integração nacional e internacional.

Neste contexto, este trabalho poderá prestar-se como uma importante fonte de subsídios, para uma reflexão sobre a escolha da melhor alternativa de investimento na recuperação dessa rodovia, que fatalmente se tornará indispensável a curto ou médio prazo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DOMINGUES, F.A.A. Cotejo econômico em trechos da Rodovia dos Imigrantes, levando-se em conta os respectivos desempenhos durante 20 anos: Pavimento Asfáltico x Pavimento Rígido. In: 1<sup>er</sup> Congresso Interamericano de Pavimentos Rígidos, Buenos Aires, Argentina, 18 octubre 1996.
2. DNER. Manual de *Whitetopping*. Brasil, 2000. 1 CD-Rom.
3. PRUDÊNCIO JR., L.R. Tecnologia do Concreto de Cimento Portland, Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 1999.
4. PITTA, M.R. Dimensionamento dos Pavimentos Rodoviários de Concreto. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, SP, 1998.
5. CASTRO, F.C. Reflexões sobre a Avaliação da Vida Útil de Pavimentos Rígidos. In: 23<sup>o</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis, SC, 1988.
6. CARVALHO, M.D.; MACEDO, P. Prática de Inspeção e Avaliação de Pavimentos Rígidos. In: 23<sup>o</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis, SC, 1988.
7. CARVALHO, M.D.; MACEDO, P. Prática de Conservação de Pavimentos Rígidos. In: 23<sup>o</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis, SC, 1988.
8. CARVALHO, M.D.; HALLACK, A. A Questão da Irregularidade Longitudinal no Pavimentos Rígidos. In: 28<sup>o</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, MG, 1994.
9. FORTES, F.Q.; SÓRIA, M.H.A.; VILLIBOR, D.F. Comparação dos Resultados de dois Métodos de Avaliação da Irregularidade Longitudinal. In: 28<sup>o</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, MG, 1994.
10. VASCONCELOS, J.F.; SILVA, M.D.; MOURÃO, S.F. A Serventia dos Pavimentos. In: 28<sup>o</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, MG, 1994.
11. FORTES, F.Q.; NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Defeitos de Pavimentos de Baixo Custo e sua Conservação. In: 28<sup>o</sup> Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, MG, 1994.

12. DOMINGUES, F.A.A.; ANDRADE, M.H.F. Considerações sobre o Financiamento e Gestão da Conservação Rodoviária. In: 28º Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, MG, 1994.
13. CARVALHO, M.D.; GROSSI, L.C.; IGNATTI, M.B. Custos Comparativos de Pavimentos Rígidos e Flexíveis em Áreas Críticas de Solicitação de Tráfego. In: 28º Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, MG, 1994.
14. PAULON, V.A. Durabilidade dos Concretos. In: II Seminário Nordestino sobre Tecnologia do Concreto.
15. SENÇO, W. Pavimentação. 3.ed. São Paulo, Grêmio Politécnico, 1980.
16. FALLS ET AL. Long-Term Cost-Benefit Analysis of Pavement Management System Implementation. In: Third International Conference on Managing Pavements, v.2, San Antonio, Texas, May 22, 1994.
17. HARRAL, C.G. Road Deterioration in Developing Countries: causes and remedies. A World Bank policy Study, Washington, D.C., U.S.A., October, 1988.
18. CHESHER A.; HARRISON R. Vehicle Operating Costs: Evidence from Developing Countries. University of Bristol, England, June 20<sup>th</sup>, 1994.
19. PATERSON, W.D.O. Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, Published for The World Bank, 1987.
20. WATANATADA, T.; DHARESHWAR A.M.; LIMA P.R.S.R. Vehicle Speeds and Operating Costs: Models for Planning and Management. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, Published for The World Bank, 1987.
21. WATANATADA, T.; PATERSON, W.D.O.; BHANDARI, A.; HARRAL, C.; DHARESHWAR A.M.; TSUNOKAWA, K. The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 1: Description of the HDM-III Model, The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 2: User's Manual for the HDM-III Model, Baltimore: The Johns Hopkins University Press, Published for The World Bank, 1987.
22. INTERNATIONAL STUDY OF HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT TOOLS. Implementation of the Road Deterioration Models in HDM-4: Part 2 Concrete Pavements. Latin American Study Team, The World Bank, March 1997.

23. SAYERS, M.W.; Karamihas S.M. The Little Book Of Profiling: Basic Information about Measuring and Interpreting Roads Profiles. September 1998.
24. PROJETO FINAL DE ENGENHARIA. Rodovia: BR/262, Trecho: Miranda - Morro do Azeite. Departamento de Estradas de Rodagem de Mato Grosso do Sul - DERSUL, Secretaria de Obras Públicas, Mato Grosso do Sul, 1984.
25. CONTADOR, C.R. Avaliação Social de Projetos. 2.ed. São Paulo, Atlas, 1988.
26. INTERNET: <http://www.dersa.com.br>, Desenvolvimento Rodoviário S/A, 12/04/2000.
27. INTERNET: <http://www.construyendo.com/notas/ventajas/index.htm>, Ventajas de los pavimentos de hormigom, DI PACE, G.; BECKER E, 05/04/2000.
28. INTERNET: <http://www.construcction.co.cr/revistas/agosto2/Art7.html>, Cámara de Construcción, BRAVO, E, 07/04/2000.
29. INTERNET: <http://www.abesc.org.br/vantagem.html>, Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Concretagem, 12/04/2000.
30. INTERNET: [http://www.gomaco.com/Resources/worldstories/world27\\_2/whitetoppingproject.html](http://www.gomaco.com/Resources/worldstories/world27_2/whitetoppingproject.html), Gomaco - The Worldwide Leader in Concrete Paving Technology, 05/04/2000.
31. INTERNET: <http://www.cepetro.unicamp.br/petroleo/asfalto>, CEPETRO - Centro de Estudos de Petróleo, 20/06/2000.
32. INTERNET: <http://www.petrobras.com.br/portugue/acompanh/arara/FAQ>, Petrobras S/A, 21/06/2000.
33. INTERNET: <http://sites.netscape.net/murilocardoso/petroleo>, 21/06/2000.
34. INTERNET: <http://www.worldbank.org/html/fdp/transport/roads/c&m/table2.htm>, World Bank, 28/06/2000.
35. INTERNET: [http://www.univ.com.br/public/analise\\_sensibilidade.htm](http://www.univ.com.br/public/analise_sensibilidade.htm), Análise de Sensibilidade por Simulação, Software SENSIBIL, Antônio Carlos M. Mattos, 20/12/2001.



<b>ANEXO 1</b>
<b>Alternativa: Pavimento Flexível (CBUQ)</b>

**ANALISE DE SENSIBILIDADE DE INVESTIMENTOS POR SIMULAÇÃO**

## PARÂMETROS FINANCEIROS NÃO SIMULADOS

Payback Financeiro (PBF)	2.0 períodos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 2900357.02
Taxa Interna de Retorno (TIR)	72.13 % por período

Taxa média de juros utilizada no cálculo do VPL: 10.00 % por período

Duração do Projeto: 20 períodos      Atraso máximo: 2 períodos

	PBF	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até	2.0	+++++	84.0
até	2.3		0.0
até	2.6		0.0
até	2.9		0.0
até	3.2	+++++	14.4
até	3.5		0.0
até	3.8		0.0
até	4.1		1.4
até	4.4		0.0
até	4.7		0.0
até	5.0		0.2

Valor médio de PBF com simulação = 2.18  
 Valor médio de PBF sem simulação = 2.00  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

	VPL	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até	2127272.9		0.2
até	2278362.8	+	2.2
até	2429452.7	+++	7.4
até	2580542.6	+++++	12.2
até	2731632.5	+++++	20.4
até	2882722.4	+++++	23.8
até	3033812.3	+++++	15.2
até	3184902.2	+++++	12.8
até	3335992.1	+	3.8
até	3487082.0		1.4
até	3638171.9		0.6



Valor médio de VPL com simulação = 2785082.12  
 Valor médio de VPL sem simulação = 2900357.02  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

	TIR	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até	37.1		0.2
até	43.2		0.4
até	49.3		1.6
até	55.4	+++	6.8
até	61.5	+++++	11.4
até	67.7	+++++++	21.4
até	73.8	+++++++	25.2
até	79.9	+++++++	16.2
até	86.0	+++++	10.0
até	92.1	+++	6.2
até	98.3		1.4

Valor médio de TIR com simulação = 69.76  
 Valor médio de TIR sem simulação = 72.13  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

Fim normal de SENSIBIL

Um programa de Antônio Carlos M. Mattos (FGV-SP)  
 Bibliografia: Revista de Adm. de Empresas da FGV,  
 de Janeiro-Março de 1989, artigo da pg. 85  
 Livraria da FGV, Av. 9 de julho, 2029, 01313 S.Paulo  
 Elaborado em linguagem Borland C++ 2.0

<b>ANEXO 2</b>
<b>Alternativa: Pavimento Flexível (CCP/WT)</b>

**ANALISE DE SENSIBILIDADE DE INVESTIMENTOS POR SIMULAÇÃO**

## PARÂMETROS FINANCEIROS NAO SIMULADOS

Payback Financeiro (PBF)	3.0 períodos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 2381481.66
Taxa Interna de Retorno (TIR)	47.88 % por período

Taxa média de juros utilizada no cálculo do VPL: 10.00 % por período

Duração do Projeto: 20 períodos      Atraso máximo: 2 períodos

	PBF	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até	2.0	++	4.4
até	2.4		0.0
até	2.8		0.0
até	3.2	+++++	67.6
até	3.6		0.0
até	4.0	+++++	24.0
até	4.4		0.0
até	4.8		0.0
até	5.2	+	3.6
até	5.6		0.0
até	6.0		0.4

Valor médio de PBF com simulação = 3.28  
 Valor médio de PBF sem simulação = 3.00  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

	VPL	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até	1609416.9		0.2
até	1774975.0		1.8
até	1940533.1	++	5.8
até	2106091.2	+++++	16.8
até	2271649.3	+++++	24.2
até	2437207.4	+++++	23.8
até	2602765.5	+++++	16.2
até	2768323.6	+++	7.4
até	2933881.7	+	3.4
até	3099439.7		0.0
até	3264997.8		0.4

Valor médio de VPL com simulação = 2286423.62  
 Valor médio de VPL sem simulação = 2381481.66  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

TIR	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até 30.3		0.2
até 34.0		1.6
até 37.7 ++		5.4
até 41.3 +++++++		14.0
até 45.0 ++++++++		24.2
até 48.7 ++++++++		22.2
até 52.4 ++++++++		18.0
até 56.1 +++++		10.6
até 59.8 +		3.2
até 63.5		0.2
até 67.2		0.4

Valor médio de TIR com simulação = 46.04  
 Valor médio de TIR sem simulação = 47.88  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

Fim normal de SENSIBIL

Um programa de Antônio Carlos M. Mattos (FGV-SP)  
 Bibliografia: Revista de Adm. de Empresas da FGV,  
 de Janeiro-Março de 1989, artigo da pg. 85  
 Livraria da FGV, Av. 9 de julho, 2029, 01313 S.Paulo  
 Elaborado em linguagem Borland C++ 2.0

<b>ANEXO 3</b>
----------------

<b>Alternativa: LÍQUIDO (Reduções)</b>
--

### ANALISE DE SENSIBILIDADE DE INVESTIMENTOS POR SIMULAÇÃO

#### PARÂMETROS FINANCEIROS NAO SIMULADOS

Payback Financeiro (PBF)	3.0 períodos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 234224.24
Taxa Interna de Retorno (TIR)	38.35 % por período

Taxa média de juros utilizada no cálculo do VPL: 10.00 % por período

Duração do Projeto: 20 períodos      Atraso máximo: 2 períodos

	PBF	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até	2.0		1.0
até	2.5		0.0
até	3.0	+++++	58.6
até	3.5		0.0
até	4.0	+++++	30.8
até	4.5		0.0
até	5.0	+++	7.8
até	5.5		0.0
até	6.0		1.4
até	6.5		0.0
até	7.0		0.4

Valor médio de PBF com simulação = 3.51  
 Valor médio de PBF sem simulação = 3.00  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

	VPL	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até	111340.4		0.2
até	132730.4		0.8
até	154120.4		0.4
até	175510.4	+++	6.0
até	196900.4	+++++	11.6
até	218290.4	+++++	20.2
até	239680.4	+++++	27.0
até	261070.4	+++++	18.4
até	282460.4	+++++	10.8
até	303850.4	+	3.6
até	325240.4		1.0

Valor médio de VPL com simulação = 225750.70  
 Valor médio de VPL sem simulação = 234224.24  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

TIR	número de casos observados (cada + representa 2% de casos)	%
até 19.0		0.2
até 22.5		0.2
até 26.0 +		2.6
até 29.5 ++		5.0
até 33.0 ++++++		14.8
até 36.5 ++++++++		21.0
até 40.0 ++++++++		26.8
até 43.6 ++++++++		16.6
até 47.1 +++++		10.0
até 50.6 +		2.6
até 54.1		0.2

Valor médio de TIR com simulação = 37.12  
 Valor médio de TIR sem simulação = 38.35  
 Total absoluto de casos observados: 500 (número de simulações)  
 Faixa de taxas utilizada nas simulações: de 5.0 a 15.0 %

OBS: TIR < 0 representa um resultado matemático sem significado financeiro

Fim normal de SENSIBIL

Um programa de Antônio Carlos M. Mattos (FGV-SP)  
 Bibliografia: Revista de Adm. de Empresas da FGV,  
 de Janeiro-Março de 1989, artigo da pg. 85  
 Livraria da FGV, Av. 9 de julho, 2029, 01313 S.Paulo  
 Elaborado em linguagem Borland C++ 2.0

ANEXO 4										
Fluxos de Caixa (Valor Corrente em R\$)										
Ano	Risco e Incerteza	Alternativa: CBUQ			Alternativa: CCP/WT			Reduções: LÍQUIDO		
		CUSTO	BENEFÍCIO	TOTAL	CUSTO	BENEFÍCIO	TOTAL	CUSTO	BENEFÍCIO	TOTAL
2000	+/- 15%	491.939,40		-491.939,40	634.259,10		-634.259,10	142.319,70		-142.319,70
2001	+/- 30%		342.052,85	342.052,85		283.502,73	283.502,73		58.550,12	58.550,12
2002	+/- 30%		351.788,20	351.788,20		292.371,99	292.371,99		59.416,21	59.416,21
2003	+/- 30%		365.168,81	365.168,81		301.513,01	301.513,01		63.655,80	63.655,80
2004	+/- 30%		375.646,40	375.646,40		310.987,25	310.987,25		64.659,15	64.659,15
2005	+/- 30%		389.624,73	389.624,73		323.086,01	323.086,01		66.538,72	66.538,72
2006	+/- 30%		400.551,15	400.551,15		332.973,39	332.973,39		67.577,76	67.577,76
2007	+/- 30%		253.290,90	253.290,90		343.134,80	343.134,80		-89.843,90	-89.843,90
2008	+/- 30%		412.139,11	412.139,11		353.632,17	353.632,17		58.506,94	58.506,94
2009	+/- 30%		423.782,43	423.782,43		367.362,33	367.362,33		56.420,10	56.420,10
2010	+/- 30%		439.714,08	439.714,08		378.559,62	378.559,62		61.154,46	61.154,46
2011	+/- 30%		452.176,93	452.176,93		390.095,64	390.095,64		62.081,29	62.081,29
2012	+/- 30%		464.938,66	464.938,66		401.907,93	401.907,93		63.030,73	63.030,73
2013	+/- 30%		482.276,79	482.276,79		417.392,95	417.392,95		64.883,84	64.883,84
2014	+/- 30%		335.892,42	335.892,42		430.198,72	430.198,72		-94.306,30	-94.306,30
2015	+/- 30%		492.631,83	492.631,83		443.345,96	443.345,96		49.285,87	49.285,87
2016	+/- 30%		511.291,84	511.291,84		456.834,65	456.834,65		54.457,19	54.457,19
2017	+/- 30%		525.895,10	525.895,10		474.424,14	474.424,14		51.470,96	51.470,96
2018	+/- 30%		546.126,56	546.126,56		489.207,41	489.207,41		56.919,15	56.919,15
2019	+/- 30%		562.085,89	562.085,89		504.334,89	504.334,89		57.751,00	57.751,00
2020	+/- 30%		417.230,40	417.230,40		519.806,58	519.806,58		-102.576,18	-102.576,18
Soma		491.939,40	8.544.305,08	8.052.365,68	634.259,10	7.814.672,17	7.180.413,07	142.319,70	729.632,91	587.313,21

Análise	VPL	TIR	VPL	TIR	VPL	TIR
Convencional	2.900.357,02	72,13%	2.381.481,66	47,88%	234.224,24	38,35%
Sensibilidade	2.785.082,12	69,76%	2.286.423,62	46,04%	225.750,70	37,12%