



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM PAVIMENTO DE CONCRETO
SIMPLES E UM FLEXÍVEL PARA A DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-
386/RS**

Henrique Mezzomo

Lajeado, dezembro de 2014

Henrique Mezzomo

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM PAVIMENTO DE CONCRETO
SIMPLES E UM FLEXÍVEL PARA A DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-
386/RS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos.

Lajeado, dezembro de 2014

Henrique Mezzomo

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES E UM FLEXÍVEL PARA A DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR- 386/RS

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II – Monografia, do curso de graduação em Engenharia Civil, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos - Orientador
Centro Universitário Univates

Prof. Me. João Paulo Cardoso Joaquim
Centro Universitário Univates

Prof. Me. João Batista Gravina
Centro Universitário Univates

Lajeado, dezembro de 2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais por me ensinarem valores como a humildade, a honestidade, a serenidade e a educação, me guiando através das escolhas para sempre seguir pelo rumo certo, por terem me apoiado em minhas decisões e quando eu estive em dificuldade, esta conquista não é só minha, parte é deles. A minha namorada, uma pessoa que não consigo descrever com palavras, pelo carinho, dedicação e apoio durante esta jornada.

Aos meus colegas de trabalho, pelos ensinamentos, oportunidades e pelo apoio que obtive para desempenhar minhas funções, e também pelo apoio que obtive para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim não menos importante, ao meu orientador, que através de seu conhecimento me auxiliou com muita competência, sempre sendo paciente e dedicado. Aos demais professores da instituição, que são também são responsáveis pela minha formação pessoal e profissional. Aos meus amigos, parceiros de idas e vindas para a universidade e colegas que acabaram por se tornar amigos com a convivência nas salas de aula. Não citarei nomes, afinal seriam muitos, mas guardo todos comigo em minhas lembranças.



*A competitividade de um País não começa nas indústrias
ou nos laboratórios de engenharia. Ela começa nas escolas.
(Lee Lacocca)*

RESUMO

Esta pesquisa aborda a comparação entre um pavimento de concreto simples e um pavimento flexível através do custo de construção e manutenção ao longo de um período de 20 anos para um trecho de 1,0 Km da duplicação da Rodovia BR-386/RS entre os municípios de Estrela e Tabaí no Estado do Rio Grande do Sul. A comparação se dará em três cenários de inflação diferentes, considerando que o custo de construção do pavimento de concreto simples é 6,66% superior ao do pavimento flexível. Por outro lado, o custo de manutenção do pavimento flexível é superior, variando de 76,00% a 77,00% em relação ao pavimento de concreto simples. De acordo com cada cenário, tornando o pavimento de concreto simples alternativa mais viável economicamente a partir do décimo quinto ano devido a este custo de manutenção mais elevado. Para a pesquisa foi realizado um levantamento bibliográfico, abordando temas como a estrutura dos pavimentos, materiais necessários para a construção, técnicas de dimensionamento além de informações importantes sobre a pavimentação como processo importante para uma sociedade bem desenvolvida.

Palavras-chave: Pavimento Flexível. Pavimento de Concreto Simples. Pavimentação por Orçamento. Técnicas de Dimensionamento. Pavimentação.

ABSTRACT

This research focuses on a comparison between a simple concrete pavement and a flexible pavement through the cost of construction and maintenance along a period of 20 years for an excerpt of 1.0 Km duplication of the BR-386/RS between the municipalities of Estrela and Tabaí, in the State of Rio Grande do Sul. The comparison will occur on three different scenarios of inflation, considering that the cost of construction of the simple concrete pavement is 6.66% higher than the flexible pavement. On the other hand, the maintenance cost of the flexible pavement is higher, ranging from 76.00% to 77.00% compared to a simple concrete pavement. According to each scene, making the simple concrete pavement economically most viable alternative from fifteenth year because of this higher cost of maintenance. A literature search was performed, addressing topics such as the structure of the pavements, materials needed for construction, sizing techniques and important information about the pavements as important process for a well-developed society.

Keywords: Flexible pavement. Simple concrete pavement. Paving by Budget. Sizing techniques. Paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esforços em camadas do pavimento.	35
Figura 2 - Camadas genéricas de um pavimento.	35
Figura 3 - Determinação das espessuras do pavimento	42
Figura 4 - Dimensionamento do pavimento.	43
Figura 5 - Placas de pavimento de concreto simples	44
Figura 6 - Localização da obra de duplicação da BR-386/RS	55
Figura 7 - Trecho adotado para a pesquisa.	56
Figura 8 - Estrutura dos pavimentos.	60
Figura 9 - Composição de Base de Brita Graduada conforme o SICRO 2	63
Figura 10 - Custo de construção e manutenção dos pavimentos	66
Figura 11 - Custo de manutenção dos pavimentos	67
Figura 12 - Custo dos pavimentos considerando inflação de 4,50% a.a. e VPL acumulado de 12,00% a.a.	71
Figura 13 - Custo dos pavimentos considerando inflação de 5,91% a.a. e VPL acumulado de 12,00% a.a.	71
Figura 14 - Custo dos pavimentos considerando inflação de 8,00% a.a. e VPL acumulado de 12,00% a.a.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frações dos solos e seus diâmetros.....	25
Tabela 2 - Classificação dos CAPs por penetração.	30
Tabela 3 - Granulometria para base granular.....	39
Tabela 4 - Coeficientes de equivalência estrutural.....	40
Tabela 5 - Espessura mínima de revestimento betuminoso.....	41
Tabela 6 - Fatores de segurança para as cargas (FSC)	48
Tabela 7 - Comparativo entre pavimentos rígidos e flexíveis	54
Tabela 8 – VDMA de Projeto.	57
Tabela 9 - Solicitações por tipo de veículo para um período de 20 anos.	58
Tabela 10 - Solicitações por tipo de eixo.....	58
Tabela 11 - Dimensionamento do pavimento de concreto simples.	59
Tabela 12 - Parâmetros para a definição de quantitativos.	61
Tabela 13 - Quantitativos para implantação de 1,0 Km de pavimento flexível	61
Tabela 14 - Quantitativos para implantação de 1,0 Km de pavimento de concreto simples.	62
Tabela 15 - Materiais e distâncias de transporte.....	64
Tabela 16 - Custo de aquisição do CAP 50/70.....	64
Tabela 17 - Equações tarifárias para o preço inicial de transporte de líquidos asfálticos.	65
Tabela 18 - Custo para a construção dos pavimentos.	68
Tabela 19 - Serviços necessários para a manutenção do pavimento flexível.	69
Tabela 20 - Custo para manutenção dos pavimentos.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação

ANP – Agência Nacional do Petróleo

CAD – Concreto de alta resistência

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CBR – California Bearing Ratio

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CCR – Concreto compactado com rolo

CCV – Concreto convencional

CED – Conjunto de Eixos Direcionais

CM – Carga Máxima

CMT – Capacidade Máxima de Tração

CMT – Carga Máxima Total

CNT – Confederação Nacional dos Transportes

DMT – Distância Média de Transporte

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

ES – Eixo Simples

ESRD – Eixo Simples Rodado Duplo

FC – Fator de equivalência de carga por eixo

FRN – Fundo Rodoviário Nacional

FSC – Fator de Segurança para Cargas

GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes

HRB – Highway Research Board

IG – Índice de Grupo

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

k – Coeficiente de Recalque

LC – Limite de Contração

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

MCT – Miniatura Compactado Tropical

Mpa – Mega Pascal

P – Peso total bruto sobre o eixo

PBT – Peso Bruto Total

PCA – Portland Cement Association

PCS – Pavimento de concreto simples

PSI – Perda de serventia

RD – Rodagem Dupla

RS – Rodagem Simples

SN – Número estrutural

SUCS – Sistema de Unificado de Classificação de Solos

TD – Conjunto de eixos tandem duplos

TT – Conjunto de eixos tandem triplos

USACE - United States Army Corps of Engineers

VDMA – Volume Diário Médio Anual

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa da pesquisa.....	16
1.2 Objetivo da pesquisa.....	17
1.3 Limitações da pesquisa	18
1.4 Estrutura da pesquisa	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Um breve histórico sobre estradas.....	20
2.2 Funções do Pavimento.....	22
2.3 Classificação dos pavimentos	23
2.4 Materiais empregados na construção de pavimentos	23
2.4.1 Solo	24
2.4.2 Agregados.....	27
2.4.3 Betumes	29
2.4.4 Ligantes hidráulicos.....	30
2.4.5 Aços	31
2.5 Estimativa de Tráfego e Cálculo do Número Equivalente N.....	32
2.5.1 Volume Médio Diário Anual	32
2.5.2 Classificação da frota	32
2.5.3 Carregamento da Frota	33
2.5.4 Fatores de Equivalência de Carga por Eixo (FC)	33
2.5.5 Número N	34

2.6 Pavimentos flexíveis.....	34
2.6.1 Estrutura.....	35
2.6.2 Revestimentos	36
2.6.3 Subleitos	36
2.6.4 Reforços de Subleitos	36
2.6.5 Bases e sub-bases.....	36
2.6.6 Imprimações entre camadas	37
2.6.7 Dimensionamento de pavimentos flexíveis – Método Empírico do DNIT ..	37
2.7 Pavimentos de concreto simples	44
2.7.1 Tipos de concreto utilizados.....	46
2.7.2 Dimensionamento de pavimentos de concreto – Método da Portland Cement Association – PCA – 1984	47
2.8 Comparação entre os pavimentos flexíveis e rígidos	51
2.8.1 Quanto à estrutura	51
2.8.2 Quanto aos materiais	52
2.8.3 Quanto aos métodos de dimensionamento.....	53
2.8.4 Quanto ao desempenho.....	53
3 METODOLOGIA	55
3.1 Projeto	55
3.2 Trecho considerado para a pesquisa	56
3.3 Estrutura dos pavimentos.....	57
3.4 Serviços e materiais utilizados para a construção dos pavimentos.....	60
3.5 Custo de implantação dos pavimentos.....	62
4 RESULTADOS.....	68
4.1 Valores para a construção dos pavimentos.....	68
4.2 Valores para a manutenção dos pavimentos	69
4.3 Comparação considerando um período de 20 anos.....	70
5 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS.....	75
ANEXOS	77

APÊNDICES	105
-----------------	-----



1 INTRODUÇÃO

Caminhar é o mais rudimentar e antigo meio de locomoção. Ao longo de sua evolução, o homem desenvolveu e aprimorou métodos e meios de transporte para facilitar seu modo de vida, para tal, surgiu a necessidade da construção de vias e estradas onde pudessem trafegar (FARIA, 2003).

Nos dias atuais, o uso racional das fontes de recursos disponíveis para investimentos na área de pavimentação, tanto para construções novas quanto para manutenções envolve uma análise integrada dos diversos aspectos que ocorrem quando é feita a análise da capacidade de retorno destes investimentos (GONÇALVES, 2007).

Com o crescimento do volume de tráfego, se faz justificável a construção de uma estrutura que seja capaz de suportar os esforços solicitantes cada vez maiores que serão produzidos (PINTO *et al.*, 2001).

Ainda segundo Pinto, os investimentos realizados para a construção de pavimentos melhores serão recompensados por benefícios como a redução do custo de transporte, a diminuição do tempo de viagem, a diminuição do consumo de combustível, o aumento do conforto e da segurança, a redução do índice de acidentes e a redução das despesas geradas por manutenções e conservação.

1.1 Justificativa da pesquisa

Como forma de comparar investimentos em pavimentação no Brasil com países desenvolvidos, nos Estados Unidos o consumo de asfalto em 2005 foi de 33 milhões de toneladas, enquanto que no Brasil o recorde de consumo de asfalto é 2 milhões de toneladas, atingidas entre os anos de 1998 e 1999. Analisando a diferença no consumo, levando em consideração que os dois países têm áreas pouco distintas, de 9,8 e 8,5 milhões de km² respectivamente, fica clara a condição precária do desenvolvimento deste setor no Brasil (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Atualmente, a maior parte da malha rodoviária brasileira é composta de pavimentos flexíveis. Nestes tipos de pavimentos é usado como revestimento uma mistura de agregados minerais, que podem variar quanto ao tamanho e fonte, com ligantes asfálticos que juntos processados possam garantir à estrutura requisitos como impermeabilidade, flexibilidade, durabilidade, resistência à fadiga e à derrapagem e resistência ao trincamento térmico, de acordo com o tráfego e climas previstos para o local (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Diante do crescimento econômico que o Brasil vem tendo nos últimos 10 anos e o aumento da frota de veículos circulando nas estradas e rodovias, aliados a condição precária em que se apresenta a malha viária Brasileira, os investimentos em infraestrutura rodoviária se tornaram iminentes para a contínua expansão econômica do País. Um levantamento feito pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), revela uma necessidade de investimento na ordem de R\$ 183,5 bilhões até o ano de 2025 para impulsionar o setor rodoviário nacional (IPEA, 2010).

Porém, nas últimas décadas, investimentos em infraestrutura rodoviária encontram-se bem aquém das necessidades do Brasil. Como consequência, há uma crescente insatisfação no setor produtivo com esse nível de investimentos. Dados de Geipot (2001) mostram que aproximadamente 60% do transporte de cargas no Brasil são por vias rodoviárias, os modais ferroviário e aquaviário correspondem a 21% e 14% respectivamente, sendo 5% pelo modal dutoviário e menos de 1% pelo modal aeroviário (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Uma pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), em 2013, revelou que em 46,9% das vias avaliadas o pavimento apresenta algum tipo de deficiência, mostrando um aumento no índice em relação ao ano anterior quando a marca era de 45,9%. Ainda de acordo com o estudo, a maior parte da extensão levantada é formada por pistas de mão simples e de mão dupla sendo que 40,5% do total de pistas avaliadas não possuem acostamento (JOSÉ, 2013).

Os pontos críticos também aumentaram atingindo a marca de 250 contra 221 do ano anterior, para pontos críticos são consideradas situações que trazem grave risco de segurança aos condutores, como por exemplo, erosões, buracos na pista, pontes caídas ou quedas de barreiras (JOSÉ, 2013).

1.2 Objetivo da pesquisa

Como mencionado anteriormente, as condições das estradas e rodovias Brasileiras encontram-se aquém da necessidade gerada pela atual demanda do tráfego, com base neste fato será feita uma análise comparando o pavimento flexível ao pavimento de concreto simples, com base nos custos de construção e manutenção para um trecho de 1,0 Km da duplicação da rodovia BR 386/RS, como forma de verificar qual pavimento apresenta maiores vantagens comparando o custo x benefício, em um período de 20 anos.

Desta forma, definiu-se como objetivo principal desta pesquisa a comparação quanto ao custo de construção e manutenção de ambos os pavimentos durante o período acima mencionado.

Para tal algumas etapas precisam ser cumpridas:

1. Dimensionar um pavimento rígido como alternativa de projeto da duplicação da BR-386/RS.
2. Definir intervenções e frequência de manutenção para um período de 20 anos.

3. Quantificar e orçar a execução e manutenção de 1,0 Km de pavimento flexível e rígido.
4. Comparar os preços considerando três cenários de inflação diferentes trazendo os custos a Valor Presente Líquido (VPL).

1.3 Limitações da pesquisa

Esta pesquisa, como já mencionado, utilizou um trecho de 1,0 Km da duplicação da rodovia BR-386/RS, onde será feita a comparação entre o pavimento flexível adotado no projeto com um pavimento de concreto simples dimensionado de acordo com as solicitações presentes no projeto, de acordo com as especificações impostas pelo DNIT. Para tal, os resultados obtidos não devem servir como parâmetros para outras pesquisas, já que o tipo de solo e volume de tráfego variam de acordo com o local e situação.

1.4 Estrutura da pesquisa

O capítulo 2 realiza revisão bibliográfica onde serão abordados diversos temas sobre os pavimentos, começando por um histórico de como surgiu a pavimentação no mundo e no Brasil, passando para as funções do pavimento, o que ele deve proporcionar ao usuário, que tipos de pavimentos existem hoje e como se classificam.

Da terraplenagem até a camada final do pavimento, que materiais são necessários, como é feita a estimativa do tráfego para o dimensionamento de um pavimento, quais os fatores que devemos considerar para o dimensionamento de um pavimento flexível e para o dimensionamento de um pavimento de concreto simples, e por fim um comparativo entre os dois pavimentos, levando em conta aspectos como a estrutura, os materiais empregados, os métodos de dimensionamento e o desempenho.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa será mencionada no capítulo 3, onde será mostrado o trecho que será utilizado como parâmetro, o

volume de tráfego para o dimensionamento do pavimento de concreto simples, de que forma serão levantados os custos de construção tanto para o pavimento flexível quanto para o pavimento em concreto simples e como serão montados os três cenários para a comparação dos pavimentos.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos de acordo com a metodologia apresentada, onde o custo de construção e manutenção serão calculados, que posteriormente serão comparados nos diferentes cenários elaborados. A conclusão e as considerações finais serão apresentadas no Capítulo 5, onde através dos resultados obtidos, o pavimento que se apresentar mais economicamente viável em um período de 20 anos será definido como a melhor opção no comparativo entre os pavimentos apresentados nesta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Um breve histórico sobre estradas

Com o objetivo de melhorar o acesso às áreas cultiváveis, fontes de recursos e possibilitar a expansão territorial o homem criou o que chamamos de estradas, cuja lembrança mais distante vem da China. Mais tarde os romanos as aperfeiçoaram instalando pavimentos e drenagem com objetivo de aumentar sua durabilidade. Estes caminhos pavimentados se tornaram tão importantes para a sociedade romana que por solicitação do Senado e da própria população, o senhor de Roma passou a ser responsável pela manutenção das vias de circulação (ROSTOVTZEFF, 1983).

Já desenvolvia-se um entendimento de que as rodovias que faziam parte de uma sociedade desenvolvida sofriam degradação ao longo do tempo e sua manutenção se tornaria indispensável (BALBO, 2007).

A necessidade de manutenção e construção de novas estradas teve um impacto significativo durante o governo Francês de Luís XIV que desejava a construção de seis mil léguas de estradas. Observando as vias Francesas, a forma como eram calçadas os Ingleses aperfeiçoaram os processos e construíram as vias mais cômodas e duráveis da Europa, o que foi muito importante para o desenvolvimento da indústria e comércio no País (BERNUCCI *et al.*, 2010).

No ano de 1790, Mascarenhas Neto, com base na experiência praticada na França, Inglaterra e Escócia, e com base na própria experiência em Portugal,

apresentou um Tratado para a construção de estradas com o objetivo de construir estradas com menos despesas do que Inglaterra e França. O Tratado também abordou aspectos importantes para uma boa pavimentação como drenagem, abaulamento, erosão, distância de transporte, compactação, sobrecarga e marcação. No Brasil, uma das primeiras estradas que se tem registro foi um caminho para interligar São Vicente a São Paulo, a ideia para a construção desta via teve início no ano de 1560 criando um caminho aberto interligando as duas cidades (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Ainda segundo Bernucci, em 1661 o governo da Capitania de São Vicente recuperou o caminho e construiu a Estrada do Mar permitindo o tráfego de veículos, em 1789 a estrada foi mais uma vez recuperada tendo a sua pavimentação no trecho da serra feita com lajes de granito, conhecida como Calçada de Lorena que até os dias atuais tem um trecho preservado. Parte do traçado da Estrada do Mar foi cedido para a construção da Estrada da Maioridade em homenagem ao Imperador D. Pedro II, iniciada em 1837 e concluída no ano de 1844, outra recuperação foi iniciada no ano de 1913, mas posteriormente a estrada foi abandonada devido à concorrência da linha férrea.

Bernucci salienta que, no ano de 1920 foi criada a Sociedade Caminho do Mar, que ficou responsável pela reconstrução da estrada e a implantação de um pedágio, no ano de 1922 seu trecho mais íngreme foi pavimentado com concreto, e em 1923 o pedágio foi abolido pelo governo da cidade de São Paulo, na época era presidente de São Paulo Washington Luiz que posteriormente se tornou presidente da República, sendo sua famosa frase “governar é abrir estradas”. Washington Luiz, no ano de 1928 inaugurou a Rodovia Rio-São Paulo com 506km de extensão, o que representava um marco na nova política federal. No ano de 1937 foi criado pelo então presidente Getúlio Vargas o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), sendo subordinado ao Ministério de Viações e Obras Públicas.

Na década de 1940 devido tecnologia desenvolvida durante a 2ª Guerra Mundial houve um grande avanço na pavimentação e em 1942 através de um contato entre engenheiros brasileiros e norte-americanos foram construídas diversas pistas de pouso em aeroportos e estradas de acesso, utilizando a o recém desenvolvido

ensaio California Bearing Ratio (CBR), este ensaio faz uma avaliação da resistência mecânica do solo através da penetração de um pistão em um corpo de prova. O grande impulso da construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, devido a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN), no ano de 1946 graças aos impostos sobre combustíveis líquidos (BERNUCCI *et al.*, 2010).

De acordo com Bernucci, o desenvolvimento foi ainda mais impulsionado entre os anos de 1956 e 1961 durante o governo de Juscelino Kubitschek, sendo criado também o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), que atuava em colaboração com o DNER e a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), no ano de 1985 o Brasil contava com cerca de 110.000km de rodovias pavimentadas.

2.2 Funções do Pavimento

Define-se como pavimento toda a estrutura composta de múltiplas camadas de espessuras variáveis assentes sobre um subleito previamente regularizado, com o objetivo de resistir aos esforços provenientes do tráfego bem como do clima, proporcionando aos usuários a melhoria nas condições de segurança, economia e conforto (DNIT, 2006).

Mais do que tudo, o pavimento deve proporcionar a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular, mais aderente e menos ruidosa, garantindo assim melhor conforto no deslocamento do veículo, mais segurança em condições de umidade e melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais (BALBO, 2007).

Ainda segundo Balbo (2007), proporcionando uma melhor condição de rolamento, automaticamente se proporciona aos usuários uma expressiva redução nos custos operacionais, tendo em vista que os custos de operação e manutenção dos veículos são diretamente ligados as condições de superfície dos pavimentos.

2.3 Classificação dos pavimentos

Os pavimentos são divididos basicamente em três tipos, conforme o DNIT (2006).

- a) Pavimento flexível: É o tipo de pavimento que sofre uma deformação elástica significativa em todas as suas camadas quando submetido a um esforço. Um exemplo típico é o pavimento constituído por uma camada asfáltica assente sobre uma camada de base de brita graduada, assente sobre um subleito construído.
- b) Pavimento rígido: É aquele que se caracteriza por ter uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores, deste modo, ele acaba por absorver praticamente todas as tensões provenientes do esforço aplicado, como exemplo, podemos adotar pavimento constituído por placas de cimento Portland.
- c) Pavimento semi-rígido: Se caracteriza em uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, ou seja, uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

2.4 Materiais empregados na construção de pavimentos

Pavimentos são estruturas compostas por camadas que interagem entre si possibilitando garantir as características estruturais solicitadas pelo projeto, além da disposição e espessura individual de cada camada. Os materiais empregados na construção de cada uma delas são fundamentais para garantir a eficiência das mesmas (BALBO, 2007).

Dentre os materiais que compõe um pavimento podemos destacar os solos que mesmo podendo ser excluídos da composição do pavimento sempre terão um papel importante atuando como subleito para a pavimentação (SENÇO, 1997).

Ainda segundo Senço, outro material indispensável é o agregado, este que é usado em larga escala na composição da estrutura do pavimento, tendo em vista que a grande maioria ou até mesmo todas as camadas do pavimento possuem agregados e assim como os solos possuem uma grande variedade de características que influenciam na sua utilização para a composição do pavimento.

Quando é feita a utilização da pavimentação flexível, os betumes, uma mistura líquida que possui alta viscosidade, de ocorrência natural ou artificial, são empregados na grande maioria dos revestimentos e, ocasionalmente em outras camadas como ligantes, são divididos entre alcatrões derivados da destilação do carvão e asfaltos derivados de petróleo, ainda existem asfaltos que podem ser provenientes de depósitos lacustres ou rochas, estes também são utilizados na pavimentação (BALBO, 2007).

Para pavimentos rígidos e semi-rígidos também pode-se fazer uso de aglomerantes ou cimentados hidráulicos que podem ser cal, cimentos naturais, cimento Portland, cimentos de endurecimento rápido, pozolanas, entre outros, que podem ser utilizados de acordo com o projeto, ou disponibilidade local (BALBO, 2007).

2.4.1 Solo

Para a pavimentação, o solo é fundamental, tanto do ponto de vista de análise de projetos quanto do ponto de vista de análise de materiais, sua importância é significativa afinal ele vai ter que suportar as cargas provenientes do tráfego. Além disso os solos podem ser empregados na construção de bases e sub-bases, que constituem as demais camadas do pavimento, motivo pelo qual se mostra necessário um estudo adequado dos solos empregados na obra para qualquer estudo relacionado a pavimentação (BALBO, 2007).

Segundo Balbo:

Solo é qualquer depósito solto ou fofo, resultante da ação do intemperismo ou da degradação de rochas ou ainda da decomposição de vegetais. Incluem-se assim, na categoria dos solos, diversos materiais não consolidados como sedimentos (pedregulhos, areias, siltes ou argilas), turfas, depósitos calcários

como as areias de conchas e corais (como em Fernando de Noronha), os depósitos piroclásticos resultantes de erupções e lavas (cinzas vulcânicas) bem como os solos residuais jovens ou maduros (BALBO, 2007, p.66).

A origem dos solos se dá a partir da decomposição das rochas, ou seja é o residual resultante da decomposição de uma rocha que permaneceu estável no próprio local, caso decomposto em um local remoto e deslocado por ação da água, vento ou gravidade, o solo passa a se chamar solo transportado, que tem suas características alteradas conforme cada método de formação, a região, o clima, a flora, dentre outros, alteram o processo de formação do solo e consequentemente, suas características, desta forma temos diversos tipos de solos para diversos tipos de regiões (BALBO, 2007).

Os solos podem ser classificados de acordo com a definição dos limites granulométricos, ou seja quanto ao diâmetro dos grãos, trata-se de uma classificação arbitrária que procura estabelecer padrões entre os tipos de solos, a Tabela 1 apresenta a classificação usualmente empregada que foi definida pelo United States Army Corps of Engineers (USACE) (BALBO,2011).

Tabela 1 - Frações dos solos e seus diâmetros.

FRAÇÃO	SUBDIVISÕES	DIÂMETROS LIMITE
		(mm)
Pedras		> 76
Pedregulhos	Graúdo	19 a 76
	Miúdo	4,76 a 19
	Grossa	2 a 4,76
Areias	Média	0,42 a 2
	Fina	0,074 a 0,42
Siltes		0,074 a 0,002
Argilas		< 0,002

Fonte: BALBO, 2007.

Ensaio de peneiramento são empregados para a separação granulométrica das frações maiores que 0,074 mm, para as frações inferiores é utilizado o ensaio de

sedimentação tendo como finalidade definir as proporções de cada uma delas. (BALBO, 2007).

Ainda segundo Balbo:

Os siltes e as argilas devem ser ainda diferenciados por outras propriedades físicas. Os siltes apresentam resistência seca baixa e constituem conglomerados que são facilmente quebráveis com os dedos; quando umedecidos e agitados na mão, adquirem um aspecto brilhante ou vítreo que desaparece quando esfregados. As argilas são mais intemperizadas e coloidais (BALBO, 2007, p.74).

Os solos, de acordo com sua formação apresentam vazios em sua estrutura, estes são preenchidos por ar ou água o que os caracteriza como um sistema polifásico, constituídos de três fases, são elas, gasosa, líquida e sólida. A porcentagem em que cada uma destas parcelas é encontrada é de suma importância para o estudo de suas características. Para isso foram criadas classificações e índices para poderem serem feitas averiguações em laboratório dos diferentes comportamentos que o solo terá como estrutura de fundação, são elas a classificação Highway Research Board – American Association of State Highway and Transportations (HRB-AASHTO), o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e o sistema classificatório de Miniatura Compactado Tropical (MCT) (SENÇO, 1997).

A classificação HRB-AASHTO é uma classificação de solos para a finalidade rodoviária, muito utilizada no Brasil, além de ser o sistema de classificação mais conhecido mundialmente, baseia-se na granulometria do solo, nos índices físicos, Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), e no Índice de Grupo (IG) que é calculado com base nas características granulométricas e nos índices físicos do solo. O SUCS, também conhecido como Classificação para Aeroportos, emprega características relacionadas à granulometria dos solos e de seus índices físicos submetidos a critérios de classificação por meio de uma carta de plasticidade, quanto a granulometria são separados em grupos de forma semelhante as divisões do USACE (BALBO, 2007)

O MCT foi desenvolvido para enquadrar os solos finos tropicais, visando suas propriedades mecânicas e hidráulicas quando compactados, além de seu potencial para emprego em camadas de pavimentos, sendo recomendado para ocorrência de solos finos lateríticos e não lateríticos (BALBO, 2007).

Esta classificação depende de uma série de ensaios que são utilizados para a determinação dos parâmetros relacionados as propriedades hidráulicas e mecânicas dos solos finos tropicais, o MCT considera que os solos encontrados no País produzem resultados satisfatórios quando utilizados em bases e sub-bases, o que os torna viáveis. Contrariando as metodologias do HRB-AASHTO e do SUCS que não recomendam a utilização do solo tropical para camadas superiores a do reforço do sub-leito, porém é reforçada a necessidade de um estudo específico para cada região de acordo com o tipo de solo encontrado (BALBO, 2007).

2.4.2 Agregados

Muito empregados na pavimentação, desde as camadas de base e sub-base até a composição das camadas de revestimento, seja o pavimento em concreto de cimento Portland ou em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), os agregados podem ser entendidos como um conjunto de grãos minerais respeitando determinados limites de dimensões (BALBO, 2007).

Podem ser naturais ou artificiais, britados ou não britados, empregados na construção civil para a fabricação de argamassas, concretos asfálticos, misturas estabilizadas com ligantes, etc. São de notável aplicação nas diversas camadas que compõe a estrutura de um pavimento devendo atender a requisitos como durabilidade, resistência e adesividade ao ligante (BALBO, 2007).

Seu nível de desempenho depende das propriedades geológicas da rocha de origem, logo tornam-se importantes informações sobre o tipo de rocha, composição mineralógica, granulção, composição química, tendência a degradação, abrasão ou fratura sob tráfego, grau de alteração e o potencial de adesão do ligante asfáltico em sua superfície. Quando empregados na construção de pavimentos asfálticos a variedade de materiais passíveis de utilização é muito grande, porém cada tipo de

utilização requer agregados com características específicas inviabilizando muitas fontes potenciais. Agregados utilizados na pavimentação podem ser classificados segundo sua natureza, tamanho e distribuição dos grãos (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Quanto à natureza, segundo Bernucci *et al.* (2010) os agregados se classificam em naturais, artificiais e reciclados.

- a) Naturais: São obtidos através de processos convencionais de desmonte, dragagem e escavação, são exemplos os pedregulhos, seixos, britas, areias, etc. Podem ser empregados na pavimentação na forma como se encontram na natureza, podendo ainda passar por processos de britagem.
- b) Artificiais: São resultantes de processos industriais, escoria de alto-forno e de aciaria, podendo também serem fabricados com objetivo específico de obter alto desempenho, como a argila calcinada e a argila expandida, atualmente os mais utilizados são as escórias, subprodutos das indústrias siderúrgicas, podem apresentar problemas de heterogeneidade e expansibilidade, por outro lado apresentam alta resistência ao atrito.
- c) Reciclados: São os provenientes de reuso dos outros materiais, atualmente a reciclagem de pavimentos existente vem crescendo em importância, sendo que já é a principal fonte de agregados em alguns.

Quanto ao tamanho, para uso em misturas asfálticas, são classificados em graúdos, miúdos e material de enchimento (DNIT, 2004).

- a) Graúdos: São os agregados que ficam retidos na peneira nº 10, ou seja, com dimensões maiores do que 2,0mm, por exemplo, britas, cascalhos, seixos, etc.
- b) Miúdos: São os agregados que ficam retidos na peneira de nº 200, mas que passam pela peneira nº 10, suas dimensões variam de 0,075mm a 2,0mm, por exemplo, areias, pó de pedra, etc.

- c) Material de enchimento: São os agregados onde pelo menos 65% passam pela peneira nº 200 e as partículas são menores do que 0,075mm, por exemplo, cal hidratada, cimento Portland, etc.

Quanto à distribuição dos grãos, esta é uma das principais características e influi diretamente no comportamento dos revestimentos asfálticos, pois ela influencia a maioria das propriedades como por exemplo a rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e a deformação e resistência ao dano por umidade (DNIT, 2004).

2.4.3 Betumes

Aplicados como ligantes na composição de revestimentos betuminosos, os betumes são substâncias formadas por hidrocarbonetos pesados, inflamáveis, com elevada viscosidade em temperatura ambiente, com propriedades ligantes e que ocorrem na natureza. Também são obtidos por fabricação a partir da destilação do petróleo, de madeira, carvão ou resinas. O asfalto é um produto natural, encontrado em rochas ou em depósitos lacustres, podendo ser também derivado de petróleo, são constituídos essencialmente de betumes (BALBO, 2007).

Os Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP), são obtidos a partir do refinamento do petróleo cru, são materiais que possuem grande quantidade de betume, cor negra ou marrom muito escura, são muito viscosos, agem como ligantes, possuem boa aderência aos agregados além de apresentarem propriedades impermeabilizantes. Segundo Balbo: “apresenta, favoravelmente a seu uso, propriedades como flexibilidade, relativa durabilidade e grande resistência à maior parte dos ácidos, sais e álcalis, além de ser insolúvel em água” (BALBO, 2007, p.111).

Além de ser termossuscetível o CAP sofre reações químicas ao ser exposto a radiação solar, às ações de óleos, graxas, lubrificantes, combustíveis, águas ácidas ou sulfatadas provenientes dos veículos que trafegam pela pista, este conjunto de ações provoca o processo de oxidação no ligante asfáltico (BALBO, 2007).

Os diversos tipos de CAP existentes podem ser classificados por diversas de suas propriedades, porém as propriedades adotadas para a engenharia civil são sua consistência, que é medida pelo ensaio de penetração e sua viscosidade, a Tabela 2 mostra diferentes classificações de tipos de CAP de acordo com cada País (BALBO, 2007).

Tabela 2 - Classificação dos CAPs por penetração.

PÁIS	DUROS	MÉDIOS	MOLES
Brasil	CAP 30/45	CAP 50/70, CAP 85/100	CAP 150/200
França	CAP 20/30	CAP 40/50, CAP 60/70, CAP 80/100	CAP 180/220
EUA	CAP 40/50	CAP 60/70, CAP 85/100	CAP 120-150, CAP 200/300

Fonte: BALBO, 2007.

Os valores XX/XX de cada tipo de CAP são índices resultantes de um ensaio de penetração que mede a dureza do cimento asfáltico, através de um pistão que penetra em um corpo de prova, quando menor for a penetração, mais duro é o CAP. Segundo Balbo: “o ensaio de penetração fornece uma medida em décimos de milímetros da penetração no CAP de uma agulha padronizada, sob determinadas condições; valores baixos são característicos de asfaltos muito consistentes, e valores altos, de asfaltos mais moles” (BALBO, 2007 p. 118).

2.4.4 Ligantes hidráulicos

Aplicados na composição dos revestimentos de cimento de concreto Portland e para a estabilização química de camadas granulares, os ligantes hidráulicos são definidos como “material pulverulento mineral finamente moído que, por meio de adição de água, forma uma pasta que após determinado tempo, solidificando-se, permite sua ligação com outros materiais, e tal processo pode ocorrer mesmo em meio aquoso” (Halberli e Wilk, 1990 *apud* Balbo, 2007, p 142).

Os tipos de cimentos fabricados passíveis de serem utilizados em pavimentação são a cal, cimento Portland, cimentos siderúrgicos, cimentos aluminosos, cimentos naturais e as pozolanas. A cal é uma matéria-prima com

abundância de carbonato de cálcio que ao ser queimada promove a calcinação dos carbonatos de cálcio, o resultado disso é o óxido de cálcio, comercialmente conhecido como cal. Cimentos Portland é uma mistura de materiais calcários e argilosos que são queimados em altas temperaturas, sendo posteriormente moídos, gerando o clínquer (BALBO, 2007).

Cimentos siderúrgicos são fabricados a partir das escórias granuladas de alto-forno que após moagem são misturadas com o clínquer, em até 70% da mistura. O cimento aluminoso é fabricado a partir da adição de bauxita, com aquecimento a ponto de fundição, posteriormente o material é resfriado e moído (BALBO, 2007).

Cimentos naturais são os materiais disponíveis na natureza formados a partir da calcinação de uma determinada matéria-prima composta de substâncias argilosas e calcárias. Por fim não menos importante, a pozolana é uma denominação atribuída a um material muito fino que, na adição de cal e de água, gera componentes aglomerantes a temperatura ambiente (BALBO, 2007).

2.4.5 Aços

Utilizados em pavimentos de concreto de cimento Portland para a transferência de cargas, seja na forma de barras ou como armaduras, os aços são produzidos com ligas de ferro-carbono, laminados a quente ou conformados a frio, de modo que, quando conformados a frio, apresentam-se mais resistentes, mais duros e menos dúcteis, segundo Balbo:

Os aços laminados a quente possuem um patamar de escoamento bem definido (onde o material passa a deformar-se plasticamente sem aumento de tensão), com posterior ganho de resistência, e o processo de encruamento a frio impede a existência dessa característica (BALBO, 2012, p. 169).

Aços utilizados na pavimentação denominados como CA-25 e CA-50 apresentam um patamar de escoamento característico, já aços CA-60, encruados a frio não apresentam este patamar, sendo o encruamento um processo que aumenta

a resistência do aço, em termos de nomenclatura, CA se refere ao concreto armado, e 50 por exemplo, se refere a resistência, no caso 500 MPa (BALBO, 2012).

2.5 Estimativa de Tráfego e Cálculo do Número Equivalente N

O pavimento é dimensionado em função do número de operações de um eixo tomado como padrão durante determinado período de projeto adotado, este número é conhecido como número equivalente N, o eixo padrão brasileiro é um Eixo Simples Rodado Duplo (ESRD) com carga de 8,2t (DNIT, 2006).

Para cálculo do número N ser realizado é necessária a determinação do tráfego futuro, para isso são definidos alguns elementos relativos ao tráfego (DNIT, 2006).

2.5.1 Volume Médio Diário Anual

Os volumes de tráfego devem ser determinados a partir de contagens volumétricas classificatórias nos trechos em análise, desvios de tráfego significativos também devem ser levados em conta para a definição de subtrechos homogêneos se tratando de tráfego. A estimativa do tráfego futuro tem como ponto de partida uma avaliação do tráfego atual, este obtido a partir de contagens no campo. Sua projeção de acordo com o período de projeto deverá se basear em taxas de crescimento do tráfego e também no conhecimento de eventuais alterações previstas para o sistema de transportes local (DNIT, 2006).

2.5.2 Classificação da frota

A grande variação de efeitos gerados no pavimento pelos diversos tipos de veículos rodoviários criou uma necessidade classificar a frota de veículos, de maneira mais detalhada possível, em particular no que se refere aos veículos de carga, para

tal foi criado um código alfa numérico para classificar os veículos, esta classificação pode ser observada no Anexo I (DNIT, 2006).

2.5.3 Carregamento da Frota

Os pesos por eixo admitidos em cada um dos tipos de veículos são tão importantes quanto a classificação da frota, pois, se a distribuição da carga por eixo não for considerada de maneira adequada, a previsão do tráfego futuro provavelmente será imprecisa. Logo torna-se necessário conhecer as cargas por eixo que solicitam a estrutura por meio dos veículos de carga, para isto é feita uma pesagem no próprio trecho, ou em outro trecho com comportamento similar de tráfego. Segundo o DNIT os procedimentos de pesagem existentes são: balanças fixas, balanças portáteis e sistemas automáticos de pesagem, que permitem a pesagem contínua de longos períodos (DNIT, 2006, p.242).

2.5.4 Fatores de Equivalência de Carga por Eixo (FC)

Segundo o DNIT o FC é “a conversão do tráfego misto em um número equivalente de operações de um eixo considerado padrão” (DNIT, 2006, p.243). Ainda segundo o DNIT, os fatores de equivalência de cargas “permitem converter uma aplicação de um eixo solicitado por uma determinada carga em um número de aplicações do eixo-padrão que deverá produzir um efeito equivalente” (DNIT, 2006, p. 243). Por causarem deflexões nas camadas do pavimento as cargas dos veículos alteram seu estados de tensões e deformações, sendo que cada carga produz um efeito destrutivo que diminui a vida útil do pavimento, deflexões diferenciadas são causadas por diferentes configurações de eixos e reduzem a vida do pavimento de diversas maneiras, desta forma são utilizados os fatores de equivalência de carga por eixo para poder fazer conversões das variadas possibilidades de carga por eixo em números de eixo-padrão (DNIT, 2006).

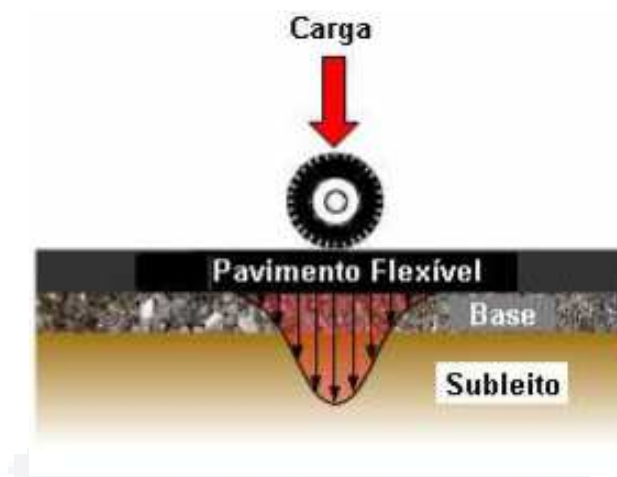
2.5.5 Número N

A partir do conhecimento da classificação da frota, dos volumes de tráfego e das cargas atuantes por eixo, o próximo passo é definir o parâmetro de tráfego que corresponde ao período de análise considerado. Como já mencionado o número N é definido pelo número de repetições de um eixo-padrão de 8,2t, durante o período de projeto, para sua determinação são considerados fatores relacionados a composição do tráfego referentes as diversas categorias de veículos, aos pesos das cargas e sua distribuição nos tipos de eixos. Seus valores são calculados com base em projeções de tráfego, o que torna necessário um conhecimento qualitativo e quantitativo da composição presente e futura, conhecimento este, que é obtido por meio de pesagens, pesquisas de origem e destino, pesquisas de tendências e contagens volumétricas (DNIT, 2006).

2.6 Pavimentos flexíveis

A estrutura do pavimento flexível é concebida para atender as solicitações dos esforços aliviando pressões sobre as demais camadas, geralmente de menor resistência, mesmo que isto não seja tomado como regra geral. Para ter um funcionamento adequado, todas as camadas do pavimento que envolvem o conjunto devem trabalhar deformações que sejam compatíveis com sua capacidade e natureza, de modo que sejam evitados processos de ruptura ou danificação prematura nos materiais que formam o pavimento (Figura 1). Suas camadas possuem uma ou mais funções específicas, sendo que elas devem proporcionar aos veículos, independentemente da condição climática, condições adequadas rolamento e suporte (BALBO, 2007).

Figura 1 - Esforços em camadas do pavimento.

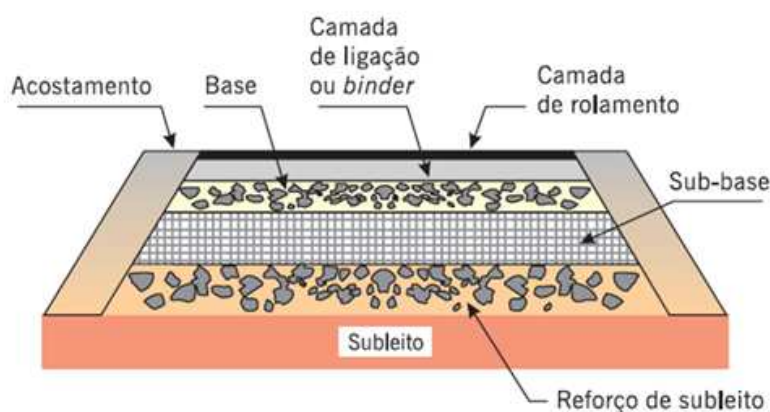


Fonte: BALBO, 2007.

2.6.1 Estrutura

Como definido no item anterior a estrutura do pavimento deve resistir aos esforços provenientes do tráfego e repassá-los as demais camadas sem que ocorram danos a ele ou à estrutura. O pavimento flexível possui as seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito (Figura 2), sendo esta última a camada de fundação como parte da estrutura. A função de cada camada é interligada com as demais para que haja uma garantia da uniformidade do comportamento do pavimento (BALBO, 2007).

Figura 2 - Camadas genéricas de um pavimento.



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2010.

Dependendo da situação, a estrutura do pavimento poderá não ter camada de sub-base ou a camada de reforço, porém a existência de revestimento, nem que seja primário, é obrigatório para que a estrutura seja chamada de pavimento (BALBO, 2007).

2.6.2 Revestimentos

A camada de revestimento deverá, entre as demais funções, receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, provenientes do tráfego, sem a desagregação de componentes, deformações elásticas, ou, a perda de compactação. Portanto, existe a necessidade de serem compostos de materiais bem aglutinados ou dispostos de forma que evitem a sua movimentação horizontal (BALBO, 2007).

2.6.3 Subleitos

É na camada de subleito que os esforços impostos sobre superfície serão aliviados. São constituídos de material natural, consolidado e compactado, a preocupação maior deve ficar em seus estratos superiores onde os esforços atuam com maior intensidade (BALBO, 2007).

2.6.4 Reforços de Subleitos

A utilização desta camada não é obrigatória, pois o uso de espessuras maiores nas camadas superiores aliviam as pressões sobre um subleito fraco, mesmo assim recomenda-se utilizá-la por questões econômicas pois quando empregados exigem camadas menos espessas de base e sub-base que geralmente tem um custo mais elevado (BALBO, 2007).

2.6.5 Bases e sub-bases

Seu objetivo principal é aliviar as pressões sobre as camadas de solo inferiores, aliado a isso elas também podem desempenhar papel importante na drenagem superficial dos pavimentos. Quando o uso da camada de base é utilizado na função

de distribuir os esforços para as demais camadas, geralmente ela tem sua espessura maior, devido a isso por razões econômicas e construtivas recomenda-se o uso de uma camada de sub-base, dividindo-a em duas camadas sendo a de sub-base com menor custo de execução (BALBO, 2007).

Ainda segundo Balbo, as bases podem ser executadas de diversas formas, podem ser em brita graduada, em brita graduada tratada com cimento, por solo estabilizado naturalmente ou por solo estabilizado quimicamente com o auxílio de um ligante hidráulico ou asfáltico. O mesmo material pode ser empregado para a construção das sub-bases.

2.6.6 Imprimações entre camadas

Para a unificação entre as camadas que constituem o pavimento, é necessária a execução de um filme asfáltico, sendo este denominado “pintura de ligação”, cuja função é aderir uma camada a outra, além deste existe ainda a “imprimação” esta com função de impermeabilizar uma camada de solo, ou base granular, antes do lançamento da camada superior. A pintura de ligação é aplicada utilizando emulsões asfálticas, enquanto as imprimações são aplicadas com a utilização de asfaltos diluídos.

2.6.7 Dimensionamento de pavimentos flexíveis – Método Empírico do DNIT

Este método tem como base o trabalho “Design of Flexible Pavement Considering Mixed Loads and Traffic Volume” elaborado pelos autores W.J. Turnbull, C.R. Foster e R.G. Ahlvin, que fazem parte do corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos da América e a partir de conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO (DNIT, 2006).

“Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na pista experimental da AASHTO, com modificações julgadas oportunas” (DNIT, 2006, p. 142).

A partir do ensaio CBR são determinadas a capacidade de suporte do subleito bem como dos materiais constituintes do pavimento. As camadas do pavimento, juntamente com o subleito devem ser compactadas de acordo com valores fixados nas especificações gerais, sendo recomendado que em nenhum caso o grau de compactação calculado deve ser inferior a 100% do que foi especificado (DNIT, 2006).

Em solos granulares com graduação grossa a energia de compressão correspondente ao ensaio de compactação proctor modificado deverá ser empregada. “Os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio CBR menor ou igual a 2% e um CBR maior ou igual a 2%” (DNIT, 2006, p. 142).

A classificação dos materiais empregados no pavimento segundo o DNIT é a seguinte:

- a) Materiais que apresentem CBR maior que o do subleito e expansão menor ou igual a 1% devem ser empregados para a camada de reforço de subleito.
- b) Materiais que apresentarem CBR maior ou igual a 20%, Índice de Grupo (IG) igual a zero e expansão menor ou igual a 1% devem ser empregados para a camada de sub-base do pavimento.
- c) Materiais que apresentarem CBR maior ou igual a 80% e expansão menor ou igual a 5%, LL menor ou igual a 25% e IP menor ou igual a 6% devem ser empregados para a camada de base do pavimento.

Em casos onde o LL seja superior a 25% e, ou, o IP seja superior a 6%, sendo satisfeitas as demais condições o material pode ser empregado na camada de base desde que o equivalente superior de areia seja superior a 30.

Caso o número de repetições do eixo-padrão, durante o período de projeto N seja menor ou igual a 5×10^6 , poderão ser empregados materiais com CBR maior ou igual a 60% e faixas granulométricas E e F conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Granulometria para base granular

Tipos	Para N > 5 x 10 ⁶			Para N < 5 x 10 ⁶			Tolerâncias da faixa de projeto
Peneiras	A	B	C	D	E	F	
% em peso passando							
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	±2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	±2

Fonte: DNIT, 2006.

Segundo o DNIT, “a fração que passa na peneira nº 200 deve ser inferior a 2/3 da fração que passa na peneira nº 40. A fração graúda deve apresentar um desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50. Pode ser aceito um valor de desgaste maior, desde que haja experiência no uso do material” (DNIT, 2006, p. 143).

A partir do conhecimento do número N (Item 2.5), e do CBR ou IS é possível fazer o dimensionamento da espessura das camadas do pavimento, para isto tornam-se necessários os coeficientes de equivalência estrutural, conforme a Tabela 4 (DNIT, 2006).

Tabela 4 - Coeficientes de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
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 betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: DNIT, 2006 (adaptado pelo autor).

Estes coeficientes também podem ser calculados em função da relação entre o CBR destas camadas e o CBR do subleito pela seguinte fórmula:

$$K_{Ref} \text{ ou } K_s = \left(\frac{CBR_1}{3 \times CBR_2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Onde:

K_{Ref} = coeficiente de equivalência estrutural do reforço do subleito

K_s = coeficiente de equivalência estrutural da sub-base

CBR_1 = CBR do reforço ou da sub-base

CBR_2 = CBR do subleito

Sendo que o coeficiente de equivalência estrutural do reforço do subleito ou da sub-base deverá ser igual a 1,00 toda a vez que o CBR destes materiais for superior a três vezes o CBR do subleito ou igual a 3.

Genericamente, os coeficientes estruturais são designados por KR para a camada de revestimento, KB para a camada de base, KS para a camada de sub-base e Kref para a camada de reforço (DNIT, 2006).

A fixação de uma espessura mínima a ser adotada para os revestimentos betuminosos ainda é um dos pontos em aberto na engenharia rodoviária, se tratando de proteger a camada de base dos esforços solicitados ou se tratando de evitar a ruptura dos revestimentos por esforços repetidos, a Tabela 5 mostra espessuras recomendadas que segundo o DNIT, “visam especialmente as bases de comportamento puramente granular e são definidas pelas observações efetuadas (DNIT, 2006, p. 147).

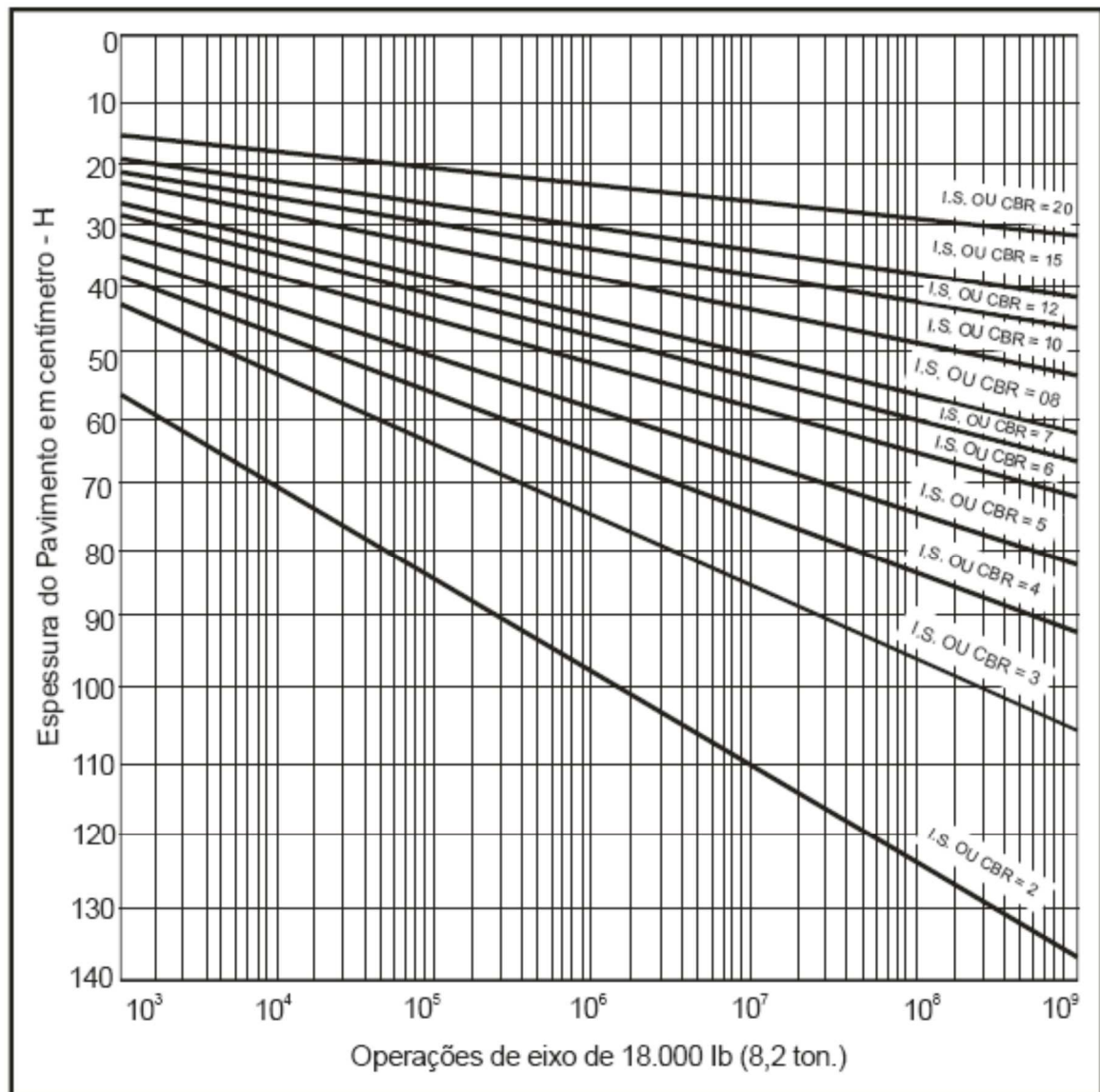
Tabela 5 - Espessura mínima de revestimento betuminoso

N	ESPESSURA MÍNIMA DO REVESTIMENTO BETUMINOSO
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT, 2006.

Como já citado o dimensionamento do pavimento é em função do número equivalente N e do ensaio CBR ou IS, para fazê-lo é necessário o uso de um gráfico (Figura 3), a espessura fornecida pelo gráfico é em termos de material com K = 1,00, ou seja, em termos de base granular. Para dimensionar a espessura do pavimento precisamos cruzar os dados do valor do número N com os do ensaio CBR ou IS, o cruzamento das duas linhas nos fornecerá a espessura do pavimento, para tal, supõe-se que há uma drenagem superficial adequada e que o lençol d'água foi rebaixado em pelo menos 1,50m em relação ao alinhamento ou greide de regularização da pista (DNIT, 2006).

Figura 3 - Determinação das espessuras do pavimento



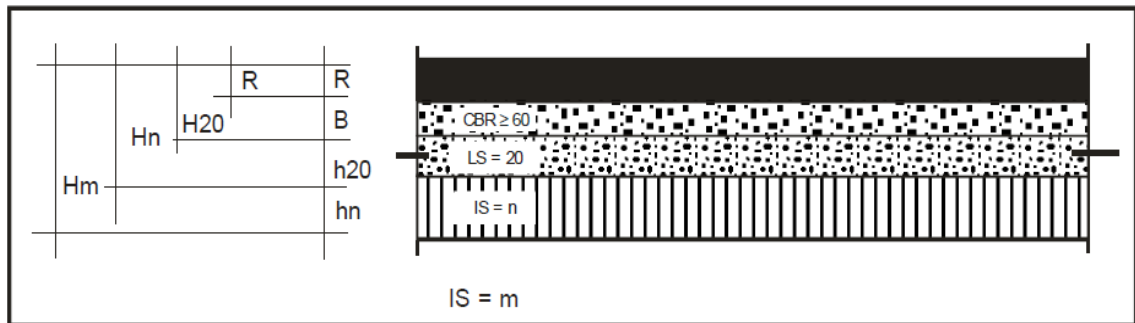
Fonte: DNIT, 2006 (adaptado pelo autor).

A espessura da camada do pavimento também pode ser dimensionada a partir da seguinte fórmula:

$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

Para as camadas granulares a espessura mínima de compactação é de 10 cm enquanto que a espessura máxima de compactação é de 20 cm, a Figura 4 apresenta a simbologia utilizada para o dimensionamento do pavimento.

Figura 4 - Dimensionamento do pavimento



Fonte: DNIT.

Onde, H_m segundo o DNIT “designa, de modo geral, a espessura total de pavimento necessário para proteger um material com CBR ou $IS = CBR$ ou $IS = m$, etc., h_n designa, de modo geral a espessura de camada do pavimento com CBR ou $IS = n$, etc.” (DNIT, 2006, p. 147).

Ainda segundo o DNIT:

Mesmo que o CBR ou IS da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento necessário para protegê-la é determinada como se esse valor fosse 20, e por esta razão, usam-se sempre os símbolos, H_{20} e h_{20} para designar as espessuras de pavimento sobre sub-base e a espessura de sub-base, respectivamente. Os símbolos B e R designam, respectivamente, as espessuras de base e de revestimento (DNIT, 2006, p. 147).

Determinadas as espessuras de H_m , h_n , H_{20} , a partir do gráfico da Figura 3, e a camada de revestimento “R” pela tabela 10, é possível obter as espessuras de base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n) resolvendo as seguintes equações (DNIT, 2006):

$$RK_R + BK_B \geq H_{20}$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S \geq h_n$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m$$

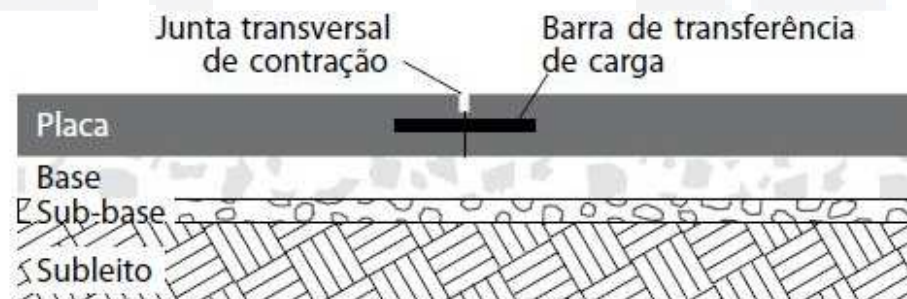
Não existem dados seguros para o dimensionamento dos acostamentos, já que sua espessura é condicionada à da pista de rolamento, permitindo que sejam feitas reduções de espessura apenas na camada de revestimento (DNIT, 2006).

Para as partes correspondentes as camadas de reforço e sub-base são adotadas as mesmas soluções da pista de rolamento, assim como para a base, quando seu custo não for muito elevado. O revestimento dos acostamentos pode ser de categoria inferior ao da pista de rolamento (DNIT, 2006).

2.7 Pavimentos de concreto simples

Pavimentos de concreto simples (PCS), são constituídos de placas de concreto moldadas *in loco*, não armadas, definidas por serragens de juntas transversais e longitudinais (Figura 5).

Figura 5 - Placas de pavimento de concreto simples



Fonte: BALBO, 2012.

As placas pré-moldadas são assentes sobre um sistema de apoio constituído de uma camada de base assente sobre uma camada de sub-base, esta sobre uma camada regularizada de subleito. Para sua construção podem ser empregados vários tipos de concreto, como o concreto de alta resistência (CAD), o concreto convencional (CCV) ou o concreto compactado com rolo (CCR) (BALBO, 2012).

Segundo Balbo:

A motivação principal para a serragem das juntas igualmente espaçadas é o controle da retração hidráulica na massa de concreto fresca, de grande área e volume, exposta às condições ambientais mais desfavoráveis possíveis (sol, chuva, ventos), se comparadas às condições de cura de concretos em estruturas corriqueiras (BALBO, 2012, p.31).

O aço empregado em pavimentos de concreto simples é utilizado para a colocação das barras de transferência de carga, que são posicionadas nas juntas transversais, fazendo com que as cargas aplicadas sobre a placa tenham seus efeitos aliviados nas barras de transferência de carga que deslocam parte do esforço para a placa subsequente fazendo as placas trabalharem em conjunto (BALBO, 2012).

A não existência da barra de transferência é um aspecto muito importante a se considerar no cálculo estrutural do pavimento de concreto simples e segundo Balbo “delimita muito bem qual o tipo de teoria ou método empregar quando de sua existência (BALBO, 2012, p. 31).

As barras de transferência de carga influenciam muito no comportamento de pavimentos de Cimento Portland (CCP) simples, em sua ausência, a junta serrada é quem deverá fazer a distribuição dos esforços entre as placas por interfaceamento de agregados na face fissurada (BALBO, 2012).

Quanto às juntas longitudinais da placa de concreto simples, são dispostas as barras de ligação, que tem por função evitar o deslocamento horizontal entre placas lateralmente dispostas, através do engastamento da armadura nas placas de concreto (BALBO, 2012).

Pode-se também optar pelo emprego de armaduras de retração em formas de telas, que são posicionadas acima da linha neutra, isso permite que sejam executadas placas de maior comprimento sem que a armadura combata esforços de tração, porém Balbo afirma que “essa técnica foi paulatinamente abandonada nas modernas construções, e o espaçamento entre juntas serradas é comum entre 4,5m a 6m (BALBO, 2012, p. 32)”.

No Brasil as construções de PCS ao longo dos anos utilizam mantas ou lonas plásticas de polietileno sobre a base do pavimento com o objetivo de evitar possíveis propagações de fissuras nas placas (BALBO, 2012).

Ainda segundo Balbo, em algumas obras de pavimentação de rodovias foi utilizada a emulsão asfáltica sobre a base cimentada para auxiliar na cura da base, reduzindo o preço pela não utilização da lona plástica.

2.7.1 Tipos de concreto utilizados

Concretos são amplamente conhecidos conhecidos como materiais de construção, Balbo os define como:

Uma mistura devidamente proporcional de agregados graúdos, agregados miúdos, ligante hidráulico (tradicionalmente cimento tipo Portland, embora cimentos siderúrgicos e pozolânicos já estejam em pleno uso em alguns países) e água, além da eventual introdução de minerais durante a moagem do clínquer e de aditivos para inibir ou ressaltar, temporariamente, algumas características das misturas, com menção especial aos aditivos plastificantes (redutores de água na mistura) e dos retardadores e aceleradores de pega (BALBO, 2012, p. 66).

Os concretos empregados na construção de pavimentos segundo o DNIT:

Devem apresentar uma resistência característica à tração na flexão definida no projeto, que geralmente é na ordem de 4,5 Mega Pascas (Mpa) ou, como no caso dos pavimentos estruturalmente armados, uma resistência característica à compressão axial, que geralmente é de 30 Mpa (DNIT, 2005, p. 61).

Também deverão apresentar uma baixa variação volumétrica e uma trabalhabilidade que seja compatível com o equipamento a ser utilizado para o espalhamento, adensamento e acabamento do concreto, além de um consumo de cimento igual ou acima de 320 kg/m³ para garantir uma maior durabilidade (DNIT, 2005).

O DNIT ainda salienta que:

Para que sejam atendidas estas condições, é necessário que seja realizado um cuidadoso estudo do traço do concreto, que considere o tipo de cimento e a eficiência do cimento, conteúdo de água, temperatura do concreto e dos materiais, tipos de aditivos e métodos de cura, devendo finalmente ser verificadas as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no endurecimento (DNIT, 2005, p. 66).

Podem ocorrer situações críticas, quando por exemplo for necessária a liberação rápida do tráfego, para tal deve ser estudado o emprego de concretos especiais, de resistência rápida, no objetivo de liberar o trânsito de veículos poucas horas após a concretagem (DNIT, 2005).

2.7.2 Dimensionamento de pavimentos de concreto – Método da Portland Cement Association – PCA – 1984

O método de dimensionamento da PCA/84 abrange diversos tipos de pavimento de concreto, são eles, pavimentos de concreto simples, pavimentos de concreto simples com barras de transferência, pavimentos de concreto com armadura distribuída descontínua e pavimentos de concreto com armadura distribuída contínua. Para tal parâmetros como modelo de ruína, tipos de pavimento, distribuição do tráfego, características do concreto, existência ou não de acostamento em concreto, existência de sub-bases tratadas com cimento, barras de transferências, empenamento do concreto e o fator de segurança para as cargas (FSC) são levados em conta, na Tabela 6, podemos observar os fatores de segurança adotados (DNIT, 2005).

Tabela 6 - Fatores de segurança para as cargas (FSC)

TIPO DE PAVIMENTO	FSC
- Para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1,0
- Para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
- Para altos volumes de caminhões	1,2
- Pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

Fonte: DNIT, 2005.

Também necessário para o dimensionamento da espessura do pavimento de concreto simples, o Coeficiente de Recalque (k), parâmetro relativo a capacidade de suporte do subleito se faz necessário, a relação entre o CBR e o coeficiente de recalque pode ser observada no Anexo 2. Este coeficiente varia de acordo com o tipo de base adotada, a variação do coeficiente k em relação a camada de sub-base granular, sub-base composta de brita tratada com cimento, sub-base composta de solo-cimento e sub-base composta de concreto rolado é observada nos Anexos 3, 4, 5 e 6 respectivamente (DNIT, 2005).

Definido o valor do coeficiente de recalque, deve-se calcular o número de eixos totais por classe de carga que irão atuar no pavimento durante o período de projeto, o Anexo 7 mostra um exemplo do cálculo de eixos totais por classe de carga. O dimensionamento da espessura do pavimento ocorre através do preenchimento de um formulário, observado no Anexo 8, o processo de preenchimento deste formulário segue uma série de etapas até chegar no resultado final, de acordo com o DNIT (2005) as etapas são as seguintes:

a) Definição dos parâmetros de dimensionamento, são eles:

1. Tipo de acostamento a ser adotado.
2. Adoção ou não de barras de transferência.
3. Coeficiente de recalque.

4. Fator de segurança.

5. Tráfego esperado para cada nível de carga de acordo com a vida de projeto do pavimento conforme o exemplo do Anexo 7.

b) Adotar uma espessura de concreto para a tentativa.

c) Determinar a tensão equivalente através dos Anexos 9 e 10, ou 11 e 12 dependendo da adoção ou não de acostamento de concreto, para eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, para isto adota-se:

1. A espessura estimada da placa, H.
2. O coeficiente de recalque do sistema, k (Anexos 3, 4, 5 e 6).
3. Com os valores obtidos deve-se preencher os campos 8, 11 e 14 do formulário, Anexo 8, conforme os eixos, sejam simples, tandem duplos ou tandem triplos.

d) Determinadas as Tensões Equivalentes, torna-se necessário determinar os Fatores de Erosão, para tal são utilizados os Anexos 13 e 14, 15 e 16, 17 e 18 ou 19 e 20.

1. São necessários os valores de espessura e coeficientes de recalque do pavimento.
2. São determinados os fatores de erosão para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos.
3. Com os valores obtidos deve-se preencher os campos 10, 12 e 15 do formulário do Anexo 8.

Segundo o DNIT, o fator de erosão “mede o poder que uma certa carga tem para impor uma certa deformação vertical à placa, ligado ao parâmetro de erosão (DNIT, 2005, p. 91).

- e) São calculados os fatores de fadiga dos campos 9, 13 e 16 do formulário do Anexo 8, para eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, dividindo as tensões equivalentes pela resistência de projeto.
- f) Determinado o fator de fadiga e as cargas por eixos simples e tandem duplos, são determinadas as repetições admissíveis, na coluna 4 do Anexo 8, através do Anexo 21 onde observa-se a Análise por Fadiga.

Para a determinação das repetições admissíveis os eixos tandem triplos são considerados como 3 eixos simples, cada um com um terço da carga total, o DNIT salienta que:

Esta é uma simplificação que apenas facilita o cálculo, deve entretanto, ser levado em conta, que os fatores de erosão que aparecem nas tabelas, correspondem à ação do conjunto formado originalmente pelos 3 eixos, ou seja, pelo próprio eixo tandem (DNIT, 2005, p.97).

- g) Determinados os fatores de erosão e as cargas por eixos simples e tandem duplos, são determinadas as repetições admissíveis no ábaco do Anexo 22 em pavimentos sem acostamento de concreto ou no ábaco do Anexo 23 em pavimentos com acostamento de concreto, os valores resultantes são lançados na coluna 6 do formulário visto no Anexo 8.

Em casos de eixos tandem triplos, como dito anteriormente, são considerados como sendo 3 eixos simples, cada um com um terço da carga total, de modo a facilitar o cálculo, porém os fatores de erosão devem ser levados em conta, da mesma forma que no item anterior (DNIT, 2005).

- h) São divididas as repetições esperadas pelas repetições admissíveis, que são determinadas tanto pela análise de erosão quanto pela análise de fadiga, determinando desta forma as porcentagens de resistência à fadiga consumida e o dano por erosão, os valores são colocados nas colunas 5 e 7 do formulário visto no Anexo 8.

- i) A coluna porcentagem de fadiga (coluna 5) e a coluna de porcentagem por erosão (coluna 6) são somadas, sendo que para verificar se a espessura estimada cumpre os requisitos solicitados a soma de nenhuma destas colunas pode ultrapassar 100%.

Caso a espessura da tentativa não atingir o percentual suficiente, deve-se repetir o cálculo com uma espessura maior (DNIT, 2005).

O DNIT salienta que, caso a porcentagem de resistência à fadiga consumida, ou a porcentagem de dano por erosão forem próximas a zero, as condições serão atendidas, porém a placa estará superdimensionada, o que é resolvido ao diminuir a espessura do pavimento, sendo que o ideal é conseguir percentuais o mais próximo possível de 100%.

2.8 Comparação entre os pavimentos flexíveis e rígidos

Através dos dados levantados sobre pavimentos flexíveis e rígidos é possível fazer uma comparação os dois tipos de pavimentos através das particularidades de cada um deles.

2.8.1 Quanto à estrutura

Devido à maior interação entre as camadas do pavimento, a estrutura necessária para a construção de um pavimento flexível se mostra mais complexa do que a estrutura do pavimento de concreto simples, porém mesmo tendo uma estrutura mais simples, a metodologia construtiva do pavimento de concreto simples se mostra mais complexa do que a do pavimento flexível (NETO, 2011).

Do ponto de vista da formação estrutural de ambos os tipos de pavimento observa-se que, no início, todo o pavimento é delimitado pelo seu tipo de fundação, esta que suportará as cargas de tráfego a que o pavimento, independentemente do tipo, será submetido, nesta linha de raciocínio, a camada mais importante para ambos os pavimentos é a camada de subleito, sendo que os pavimentos rígidos por

dispersarem as solicitações do tráfego de forma ampla, exigem menos da sua camada de fundação, dispensando por vezes a camada de reforço do subleito, muito utilizada em pavimentos flexíveis (NETO 2011).

A estrutura do pavimento de concreto simples se mostra mais controlada nos aspectos que remetem à qualidade dos materiais e metodologia de implantação quando comparada ao pavimento flexível, em contrapartida isto significa que o pavimento de concreto simples poderá ter um maior custo de implantação inicial, ficando dependente da situação em que será construído o pavimento e do projeto adotado. Pavimentos rígidos se mostram mais indicados para solos com menor capacidade de suporte, onde seriam necessários serviços para o reforço e regularização do subleito para que atendam as condições de suporte de uma rodovia, serviços estes que podem ser minimizados com a adoção de uma estrutura mais estável como no caso a do pavimento de concreto simples (NETO, 2011).

Pavimentos flexíveis seriam mais indicados em solos com maior resistência, que atendam às necessidades do tráfego, eliminando desta forma a necessidade de reforço nas camadas de subleito, tornando-o mais simples (NETO 2011).

2.8.2 Quanto aos materiais

A maior parte dos materiais utilizados na construção dos pavimentos rígidos e flexíveis possuem características em comum, como o solo e os agregados, empregados em qualquer tipo de pavimento. O estudo do tipo de solo não varia muito de acordo com o tipo de pavimento adotado, sendo em alguns casos o mesmo para ambas, por outro lado, para os agregados existe um controle mais específico para os pavimentos rígidos e flexíveis, tendo em vista que cada um exige propriedades distintas, compõem a maior parcela do volume de ambos os pavimentos, já que tem o objetivo de economizar o material ligante sem diminuir as propriedades essenciais de cada um (NETO, 2011).

Para o pavimento flexível o aglomerante betuminoso, é o diferencial, é ele o responsável por fazer a ligação entre os agregados, trata-se de um material derivado do petróleo que possui reservas finitas na natureza. O cimento Portland, apesar de

ser utilizado também como aglomerante hidráulico em pavimentos flexíveis é o principal componente do pavimento concreto simples, dentre os materiais que se diferenciam dos utilizados no pavimento flexível estão os selantes de juntas, aços e a própria água que é adicionada em sua mistura, o maior número de materiais torna mais complexo o controle de qualidade do pavimento de concreto simples (NETO, 2011).

2.8.3 Quanto aos métodos de dimensionamento

Independentemente do tipo de pavimento adotado, o dimensionamento busca o mesmo resultado, sendo que, ambos utilizam os mesmos aspectos solicitantes, como a carga de tráfego e a resistência do solo local e somente com base nestes dados é que serão calculadas as espessuras das camadas do pavimento, seja ele flexível ou rígido (NETO 2011).

2.8.4 Quanto ao desempenho

O pavimento de concreto simples é tido como mais durável e seguro, além de economizar em combustível e iluminação pública, seus benefícios proporcionam um menor custo operacional para os veículos, além de um menor índice de acidentes, quando comparado ao pavimento flexível. Para sua construção apresenta um custo menos elevado, em contrapartida, tem grande durabilidade e exige menos manutenção, são indicados como solução ideal para vias públicas e rodovias submetidas ao tráfego intenso, é mais resistente as intempéries, não oxida, não sofre deformação plástica, não forma trilhos de rodas, nem buracos, geralmente encontrados em pavimentos flexíveis (CARVALHO, 2007).

Como forma de comparação entre os pavimentos rígidos e flexíveis, Bianchi *et. al.* (2008) desenvolveu uma tabela onde as principais características de cada pavimento são expostas, a Tabela 7 mostra as características de cada pavimento.

Tabela 7 - Comparativo entre pavimentos rígidos e flexíveis

PAVIMENTOS RÍGIDOS	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
Estruturas mais delgadas de pavimento	Estruturas mais espessas (requer maior escavação e movimento de terra) e camadas múltiplas
Resiste a ataques químicos (óleos, graxas, combustíveis)	É fortemente afetado pelos produtos químicos (óleo, graxas, combustíveis)
Maior distância de visibilidade horizontal, proporcionando maior segurança	A visibilidade é bastante reduzida durante a noite ou em condições climáticas adversas
Pequena necessidade de manutenção e conservação, o que mantém o fluxo de veículos sem interrupções	Necessário que se façam várias manutenções e recuperações, com prejuízos ao tráfego e custos elevados
Falta de aderência das demarcações viárias, devido ao baixo índice de porosidade	Melhor aderência das demarcações viárias, devido a textura rugosa e alta temperatura de aplicação (30 vezes mais durável)
Vida útil mínima de 20 anos	Vida útil máxima de 10 anos (com manutenção)
Maior segurança à derrapagem em função da textura dada à superfície (veículo precisa de 16% menos de distância de frenagem em superfície seca, em superfície molhada 40%)	A superfície é muito escorregadia quando molhada
De coloração clara, tem melhor difusão de luz. Permite até 30% de economia nas despesas de iluminação da via	De cor escura, tem baixa reflexão de luz. Maiores gastos com iluminação
O concreto é feito com materiais locais, a mistura é feita a frio e a energia consumida é a elétrica	O asfalto é derivado de petróleo importado, misturado normalmente a quente, consome óleo combustível e divisas
Melhores características de drenagem superficial: escoamento melhor a água superficial	Absorve a umidade com rapidez e, por sua textura superficial, retém a água, o que requer maiores caimentos
Mantém íntegra a camada de rolamento, não sendo afetado pelas intempéries	Altas temperaturas ou chuvas abundantes produzem degradação

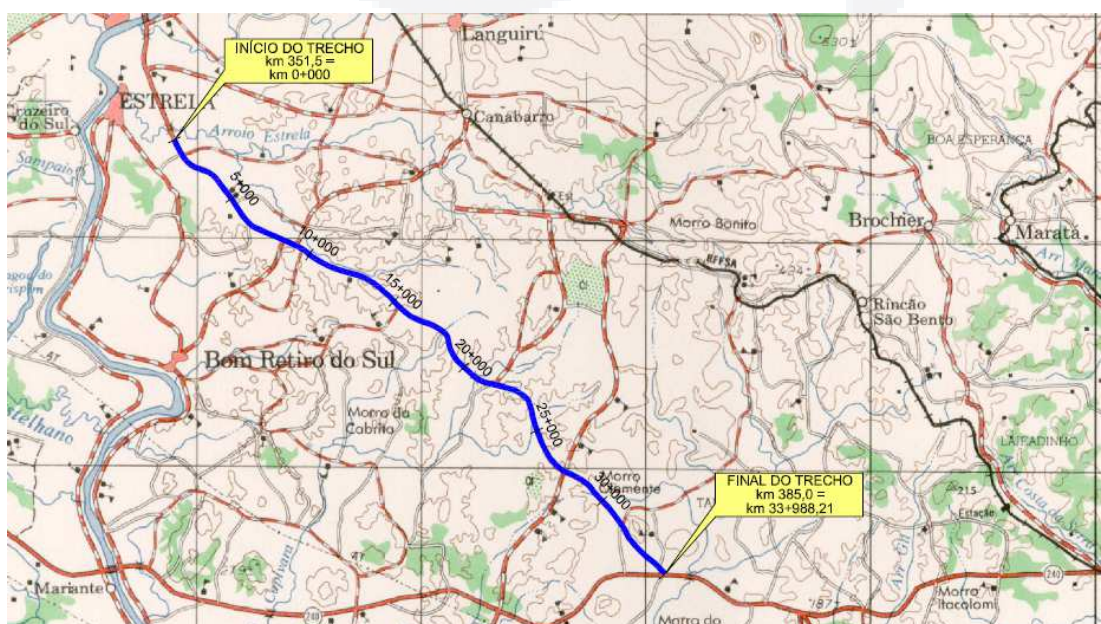
Fonte: BIANCHI *et al.*, (2008).

3 METODOLOGIA

3.1 Projeto

A pesquisa foi feita utilizando como base um projeto existente, trata-se do projeto de duplicação da rodovia BR 386-RS, a obra estende-se desde as proximidades do município de Estrela/RS até as proximidades do município de Tabai/RS, possui uma extensão total de 33,99 Km, conforme indicado no mapa representado pela Figura 6.

Figura 6 - Localização da obra de duplicação da BR-386/RS



Fonte: DNIT, 2010.

3.2 Trecho considerado para a pesquisa

O trecho utilizado para a análise comparativa entre o pavimento flexível e o pavimento de concreto simples tem uma extensão de 1.000,00 m, iniciando-se no Km 351,50 estendendo-se até o Km 352,50 (Figura 7), a pista neste trecho é composta de uma faixa de acostamento interno de 1,20 m de largura, duas faixas de rolamento de 3,60 m de largura e uma faixa de acostamento externo de 2,50 m de largura.

As faixas de acostamento, por possuírem uma estrutura diferente das faixas de rolamento, serão desconsideradas para a pesquisa, sendo assim o trecho considerado terá largura de 7,20 m, extensão de 1.000,00 m de comprimento e área total de 7.200,00 m².

Figura 7 - Trecho adotado para a pesquisa



Fonte: Google Maps, modificado pelo autor.

3.3 Estrutura dos pavimentos

Para o dimensionamento do pavimento de concreto simples, será utilizado o método da Portland Cement Association – PCA de 1984, com o auxílio de uma planilha em Excel onde serão calculados os totais de eixos solicitantes para eixos simples, eixos tandem duplos e eixos tandem triplos de acordo com os dados do volume de tráfego mensurado na rodovia, retirados da memória justificativa do projeto de duplicação da BR-386/RS, conforme indicado na Tabela 8.

Tabela 8 – VDMA de Projeto.

VEÍCULO	SÍMBOLO	CATEGORIA	EIXO	CARGA LEGAL (tf)	μ /PBT	CARGA EFETIVA (tf)	VDMA 2008
ÔNIBUS	2CB	MÉDIO	ESRS	6,00	0,90	5,40	190
			ESRD	10,00	0,90	9,00	
	3CB	PESADO	ESRS	6,00	0,93	5,58	185
			ETD	13,50	0,93	12,56	
CAMINHÕES	2C	MÉDIO	ESRS	6,00	0,90	5,40	852
			ESRD	10,00	0,90	9,00	
	3C	PESADO	ESRS	6,00	0,93	5,58	1240
			ETD	17,00	0,93	15,81	
	4C	U. PESADO	ESRS	6,00	0,95	5,70	18
			ETT	25,50	0,95	24,23	
CARRETA	2S1	U. PESADO	ESRS	6,00	0,94	5,64	5
			ESRD	10,00	0,94	9,40	
			ESRD	10,00	0,94	9,40	
	2S2	U. PESADO	ESRS	6,00	0,95	5,70	39
			ESRD	10,00	0,95	9,50	
			ETD	17,00	0,95	16,15	
	2S3	U. PESADO	ESRS	6,00	0,96	5,76	478
			ESRD	10,00	0,96	9,60	
			ETT	25,50	0,96	24,48	
			ETT	25,50	0,96	24,48	
CAVALO TRUCK	3S2	U. PESADO	ESRS	6,00	0,96	5,76	11
			ETD	17,00	0,96	16,32	
			ETD	17,00	0,96	16,32	
	3S3	U. PESADO	ESRS	6,00	0,97	5,82	367
			ETD	17,00	0,97	16,49	
			ETT	25,50	0,97	24,74	
ROMEU E JULIETA	2C2	U. PESADO	ESRS	6,00	0,96	5,76	2
			ESRD	10,00	0,96	9,60	
			ESRD	10,00	0,96	9,60	
			ESRD	10,00	0,96	9,60	
	2C3	U. PESADO	ESRS	6,00	0,96	5,76	2
			ESRD	10,00	0,96	9,60	
			ESRD	10,00	0,96	9,60	
			ETD	17,00	0,96	16,32	
	3C2	U. PESADO	ESRS	6,00	0,96	5,76	11
			ETD	17,00	0,96	16,32	
			ESRD	10,00	0,96	9,60	
			ESRD	10,00	0,96	9,60	
	3C3	U. PESADO	ESRS	6,00	0,97	5,82	4
			ETD	17,00	0,97	16,49	
			ESRD	10,00	0,97	9,70	
			ETD	17,00	0,97	16,49	
BITREM	3D4	U. PESADO	ESRS	6,00	0,97	5,82	95
			ETD	17,00	0,97	16,49	
			ETD	17,00	0,97	16,49	
			ETD	17,00	0,97	16,49	
RODOTREM	3T6	U. PESADO	ESRS	6,00	0,97	5,82	18
			ETD	17,00	0,97	16,49	
			ETD	17,00	0,97	16,49	
			ETD	17,00	0,97	16,49	
			ETD	17,00	0,97	16,49	

Com os dados do Volume Diário Médio Anual (VDMa) do ano de 2008 retirados do projeto, é possível calcular o número N para um período de 20 anos, necessário para o dimensionamento do pavimento rígido.

Para o cálculo foi adotado uma taxa de crescimento anual do volume de veículos de 4%, de acordo com a configuração de eixo de cada veículo é possível calcular a quantidade de solicitações por tipo de veículo para um período de 20 anos (Tabela 9).

Tabela 9 - Solicitações por tipo de veículo para um período de 20 anos.

TIPO DO VEÍCULO		VDMa 2008	Volume Médio	Volume Total	CONFIGURAÇÃO DOS				QUANTIDADE POR EIXO			
					ESRS	ESRD	ETD	ETT	ESRS	EDRD	ETD	ETT
ONIBUS	2CB	190	262	1.914.060	1	1	-	-	1.914.060	1.914.060	-	-
	3CB	185	255	1.863.690	1	-	1	-	1.863.690	-	1.863.690	-
CAMINHÕES	2C	852	1.176	8.583.048	1	1	-	-	8.583.048	8.583.048	-	-
	3C	1.240	1.711	12.491.760	1	-	1	-	12.491.760	-	12.491.760	-
	4C	18	25	181.332	1	-	-	1	181.332	-	-	181.332
CARRETAS	2S1	5	7	50.370	1	2	-	-	50.370	100.740	-	-
	2S2	39	54	392.886	1	1	1	-	392.886	392.886	392.886	-
	2S3	478	660	4.815.372	1	1	-	1	4.815.372	4.815.372	-	4.815.372
CAVALO TRUCK	3S2	11	15	110.814	1	-	2	-	110.814	-	221.628	-
	3S3	367	506	3.697.158	1	-	1	1	3.697.158	-	3.697.158	3.697.158
ROMEU E JULIETA	2C2	2	3	20.148	1	3	-	-	20.148	60.444	-	-
	2C3	2	3	20.148	1	2	1	-	20.148	40.296	20.148	-
	3C2	11	15	110.814	1	2	1	-	110.814	221.628	110.814	-
	3C3	4	6	40.296	1	1	2	-	40.296	40.296	80.592	-
BITREM	3D4	95	131	957.030	1	-	3	-	957.030	-	2.871.090	-
RODOTREM	3T6	18	25	181.332	1	-	4	-	181.332	-	725.328	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através das solicitações por tipo de veículos é possível calcular as solicitações por tipo de eixo e o número N, com um valor de $8,2 \times 10^7$, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Solicitações por tipo de eixo.

TOTAIS POR EIXO			
EIXO SIMPLES	ESRS	6,0 ton	35.430.258
EIXO SIMPLES	ESRD	10,0 ton	16.168.770
EIXO TANDEM DUPLO	ETD	13,5 ton	1.863.690
EIXO TANDEM DUPLO	ETD	17,0 ton	20.611.404
EIXO TANDEM TRIPLO	ETT	25,5 ton	8.693.862
TOTAL			82.767.984

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre as alternativas com espessuras variadas testadas, a tentativa que apresentou uma espessura da camada de revestimento de 30,0 cm, assente sobre uma base composta de Concreto Rolado (CCR) com espessura de 10,0 cm, sem acostamento e sem juntas de dilatação foi a que ficou abaixo e mais próxima do limite de 100% para o fator de erosão (Tabela 11), portanto a adotada para a pesquisa.

Tabela 11 - Dimensionamento do pavimento de concreto simples.

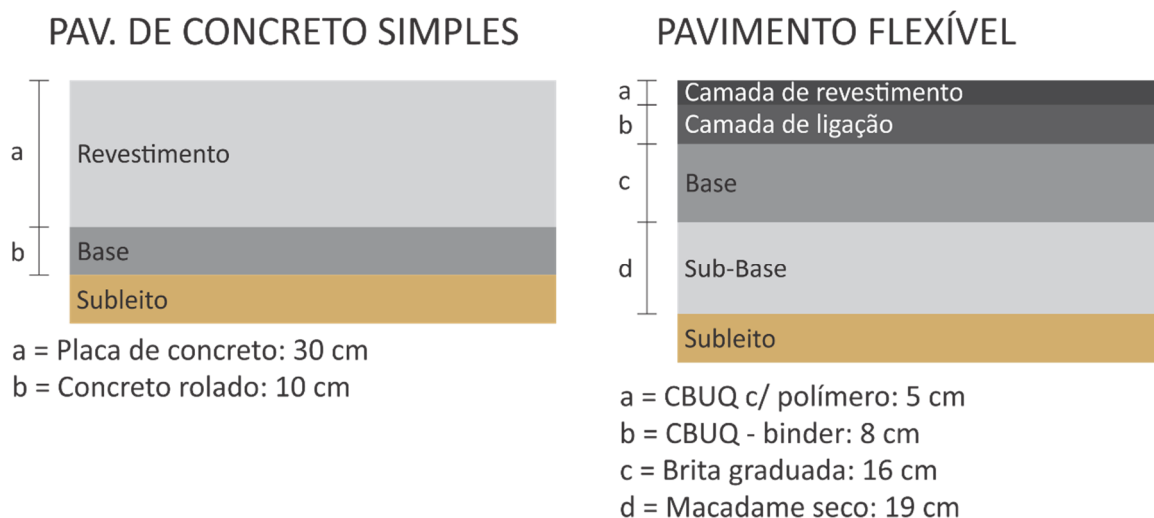
ESPESSURA DA CAMADA DE REVESTIMENTO		30 cm	MATERIAL DA BASE:		CCR	
Ksb (Mpa/m)		150	ESPESSURA DA BASE:		10 cm	
RESISTÊNCIA K' À TRAÇÃO NA FLEXÃO (Mpa		4,5	JUNTAS:		NÃO	
FATOR DE SEGURANÇA DE CARGAS, Fsc:		1,1	ACOSTAMENTO:		NÃO	
CALCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA						
Cargas por Eixo (tf)	Carga por Eixo x FSC	Nº de Repetições Previstas	Análise Fadiga		Análise de Erosão	
			nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	nº de repetições admissíveis	Danos por Erosão (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(8) Tensão Equivalente	0,8200	(10) Fator da Erosão	2,4800
Eixo Simples						
			(9) Fator da Fadiga	0,1822		
6,00	6,60	35.430.258	Ilimitado	0,00%	Ilimitado	0,00%
10,00	11,00	16.168.770	Ilimitado	0,00%	90.000.000	17,97%
			(8) Tensão Equivalente	0,7200	(10) Fator da Erosão	2,6400
Eixo Tandem Duplo						
			(9) Fator da Fadiga	0,1600		
13,50	14,85	1.863.690	Ilimitado	0,00%	Ilimitado	0,00%
17,00	18,70	20.611.404	Ilimitado	0,00%	40.000.000	51,53%
			(8) Tensão Equivalente	0,5225	(10) Fator da Erosão	2,6800
Eixo Tandem Triplo						
			(9) Fator da Fadiga	0,1161		
25,50	9,35	8.693.862	Ilimitado	0,00%	35.000.000	24,84%
			TOTAL	-	TOTAL	94,33%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o pavimento flexível, espessura será a que consta no projeto executivo da obra, que é de 8,00 cm de CBUQ - "binder" para a camada de ligação e 5,00 cm de CBUQ modificado com polímero para a camada de rolamento, totalizando uma camada de pavimento flexível de 13,00 cm de espessura, assente sobre uma camada de brita graduada de 16,00 cm de espessura, esta assente sobre uma camada de

sub-base composta de macadame seco com 19,00 cm de espessura, esta assente sobre um subleito previamente regularizado, a Figura 8 ilustra a estrutura dos pavimentos considerados.

Figura 8 - Estrutura dos pavimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Serviços e materiais utilizados para a construção dos pavimentos

Após definidas as espessuras das camadas que compõe cada um dos pavimentos, é necessário definir quais serviços serão empregados para a construção de ambos. Como a comparação se dará apenas nos pavimentos, os serviços serão definidos considerando a regularização final da camada de terraplenagem concluída, a Tabela 12 indica os parâmetros utilizados para definir os quantitativos dos pavimentos flexível e rígido.

Tabela 12 - Parâmetros para a definição de quantitativos.

PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES	
GEOMÉTRICO	
Extensão	1000,00 m
Largura	7,20 m
Camada de base	0,16 m
Camada de sub-base	0,19 m
Camada de revestimento c/ binder	0,08 m
Camada de revestimento capa c/ polímero	0,05 m
DENSIDADES	
Densidade CBUQ c/ binder	2,485
Densidade CBUQ c/ polímero	2,498
CONSUMO DE MATERIAL	
CAP 50/70:	0,0500 ton/m³
Cap Polímero:	0,0550 ton/m³
RR-2C:	0,0004 ton/m³
RR-1C Polímero:	0,0004 ton/m³
CM-30:	0,0012 ton/m³
PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES	
GEOMÉTRICO	
Extensão	1000,00 m
Largura	7,20 m
Camada de CCR	0,10 m
Espessura da placa de concreto	0,30 m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desta forma, é possível definir os quantitativos para cada tipo de serviços necessários para a composição de ambos os pavimentos, a Tabela 13 indica os serviços necessários, bem como os quantitativos para a construção de 1.000,00 m do pavimento flexível.

Tabela 13 - Quantitativos para implantação de 1,0 Km de pavimento flexível

CD.	CÓD. SICRO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE
1	PAVIMENTO FLEXÍVEL			
1.1	PISTA DE ROLAMENTO			
1.1.1	2 S 02 230 50	Base de brita graduada	m³	1.152,00
1.1.2	5 S 02 300 00	Imprimação	m²	7.200,00
1.1.3	5 S 02 400 00	Pintura de ligação	m²	21.600,00
1.1.4	2 S 02 540 52	Concreto betuminoso usinado a quente - "binder"	t	1.431,36
1.1.5	2 S 02 540 51	Conc. Betuminoso usinado a quente - capa rolamento	t	899,28
1.1.6	PN 20	Sub-base de macadame seco	m³	1.368,00
1.2	FORNECIMENTO DE MATERIAL BETUMINOSO			
1.2.1	PN 21	CAP 50/70	t	71,57
1.2.2	PN 22	CAP 55/75 c/ polímeros	t	49,46
1.2.3	PN 23	RR-2C	t	5,76
1.2.4	PN 24	RR-1C-E c/ polímeros	t	2,88
1.2.5	PN 25	CM-30	t	8,64
1.3	TRANSPORTE DO MATERIAL BETUMINOSO			
1.3.1	PN 26	Transporte de asfalto a quente	t	121,03
1.3.2	PN 27	Transporte de asfalto a frio	t	17,28

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 14 indica os serviços e quantitativos para a construção de 1.000,00 m de pavimento de concreto simples.

Tabela 14 - Quantitativos para implantação de 1,0 Km de pavimento de concreto simples.

CD.	CÓD. SICRO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE
2	PAVIMENTO RÍGIDO			
2.1	PISTA DE ROLAMENTO			
2.1.1	2 S 02 603 50	Sub-base de concreto rolado AC/BC	m³	720,00
2.2.2	2 S 02 606 50	Concr.de cimento portl.com fôrma deslizando AC/BC	m³	2.160,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5 Custo de implantação dos pavimentos

Os custos de cada tipo de serviço deverão ser definidos utilizando o manual de custos rodoviários do DNIT conhecido como SICRO 2, onde estão definidos os custos para execução de diversos serviços para a construção de pavimentos.

Estes custos são reajustados mensalmente, sendo que para esta pesquisa foi utilizado como referência o mês de Maio de 2014. Determinadas composições apresentam um custo de transporte de material, este custo é determinado a partir de uma Distância Média de Transporte (DMT), que é a medida entre o local onde se encontra o fornecedor do material, até o local onde o material é usado.

Para a pesquisa foram considerados serviços com materiais de origem comercial, a Figura 9 mostra um modelo de composição de custo para a execução de uma camada de Base de Brita Graduada.

Figura 9 - Composição de Base de Brita Graduada conforme o SICRO 2.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Construção Rodoviária			SICRO2	
Custo Unitário de Referência			Rio Grande do Sul			RCTR0320	
Mês : Maio / 2014			Produção da Equipe : 121,00 m3			(Valores em R\$)	
2 S 02 230 50 - Base de brita graduada BC							
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário	
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo		
E102 - Rolo Compactador - Tandem vibrat. autoprop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04	
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55	
E109 - Distribuidor de Agregados - autopropelido (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74	
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	3,56	1,00	0,00	117,55	9,17	418,51	
E407 - Caminhão Tanque - 10.000 l (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,22	9,17	84,81	
Custo Horário de Equipamentos						789,86	
B - Mão-de-Obra	Quantidade				Salário-Hora	Custo Horário	
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00				26,25	26,25	
T701 - Servente	3,00				6,92	20,78	
Custo Horário da Mão-de-Obra						47,04	
Ado.M.O. - Ferramentas: (15,51 %)						7,30	
Custo Horário de Execução						843,99	
Custo Unitário de Execução						6,98	
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário		
1 A 01 395 51 - Usinagem de brita graduada BC	1,0000	m3	94,89		94,89		
Custo Total das Atividades						94,89	
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas	Unidade de Serviço			Custo Unitário		
1 A 01 395 51 - Usinagem de brita graduada BC	2,4000						
Custo Unitário Direto Total						101,87	
Luoro e Despesas Indiretas (29,98 %)						30,54	
Preço Unitário Total						132,41	

Fonte: DNIT.

Os materiais necessários para a implantação de ambos os pavimentos foram distribuídos em uma tabela, bem como seus fornecedores e a distância até a usina onde serão processados, sendo que para ambos os pavimentos o local de usinagem dos materiais é de acordo com o indicado no projeto de duplicação da BR-386/RS localizado no Município de Fazenda Vilanova, distante 16,0 Km do ponto médio do trecho considerado para a pesquisa.

A Tabela 15 indica os fornecedores de cada material necessário para a construção dos pavimentos e a distância de transporte até o local onde serão processados.

Tabela 15 - Materiais e distâncias de transporte.

MATERIAL	FORNECEDOR	LOCALIZAÇÃO	DISTÂNCIA ATÉ A USINA
Brita Comercial	Conpasul Construção	Estrela/RS	17,0 Km
Areia Comercial	Comercial Areia do V	Estrela/RS	21,0 Km
Filler	Greca Asfaltos	Esteio/RS	86,0 Km
CAP 50/70	Greca Asfaltos	Esteio/RS	86,0 Km
CAP 55/75 Modificado c/ Polímeros	Greca Asfaltos	Esteio/RS	86,0 Km
RR-2C	Greca Asfaltos	Esteio/RS	86,0 Km
RR-1C-E Modificado c/ Polímeros	Greca Asfaltos	Esteio/RS	86,0 Km
CM-30	Greca Asfaltos	Esteio/RS	86,0 Km

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os custos de aquisição e transporte dos líquidos asfálticos são calculados separadamente, para calcular o custo de aquisição são utilizadas tabelas fornecidas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), onde o custo do material é informado em R\$/Kg com reajustes mensais de acordo com cada estado, na Tabela 16 pode-se observar o custo de aquisição do CAP 50/70.

Tabela 16 - Custo de aquisição do CAP 50/70

		Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis CDC- Cordenadoria de Defesa da Concorrência								
Unidade - R\$/kg		Produto: CAP 50 70			Ano: 2014					
UF	jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	jul/14	ago/14	set/14	out/14
Acre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alagoas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amapá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amazonas	0,95277	1,03706	1,00740	1,05240	0,96184	-	-	-	-	-
Bahia	0,92775	0,93717	0,94442	0,94373	0,92303	-	-	-	-	-
Ceará	0,93385	0,92741	0,92040	0,92028	0,93261	-	-	-	-	-
Distrito Federal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Espírito Santo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Goiás	1,18277	1,16174	1,20221	1,18175	1,17677	-	-	-	-	-
Maranhão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mato Grosso	1,35692	1,27027	1,25832	1,28620	1,28462	-	-	-	-	-
Mato Grosso do Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minas Gerais	0,91464	0,92160	0,91252	0,92211	0,93729	-	-	-	-	-
Pará	1,20825	1,12930	1,22264	1,16440	1,25305	-	-	-	-	-
Paraíba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paraná	0,92499	0,91987	0,92140	0,90034	0,90392	-	-	-	-	-
Pernambuco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Piauí	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio de Janeiro	0,91204	0,91593	0,93450	7,26357	0,93098	-	-	-	-	-
Rio Grande do Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio Grande do Sul	0,88388	0,89182	0,89761	0,89299	0,91038	-	-	-	-	-
Rondônia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Roraima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa Catarina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
São Paulo	0,91388	0,91300	0,92007	0,90386	0,89752	-	-	-	-	-

Fonte: Agência Nacional do Petróleo.

O custo de aquisição é calculado considerando um ICMS de 17% através da seguinte equação.

$$\text{Custo de aquisição} = \frac{\text{Custo direto da aquisição}}{1 - \left(\frac{\%ICMS}{100}\right)}$$

O transporte dos líquidos asfálticos é calculado de acordo com a Instrução de Serviço Nº 2, de 18 de Janeiro de 2011, estabelecida pelo DNIT, onde através de uma fórmula e tabelas de reajustamento é possível calcular o custo de transporte dos líquidos asfálticos, nas modalidades a quente e a frio, a Tabela 17 mostra a equação tarifária para preço inicial de acordo com cada modalidade de transporte.

Tabela 17 - Equações tarifárias para o preço inicial de transporte de líquidos asfálticos.

REVESTIMENTO	MODALIDADE	EQUAÇÕES TARIFÁRIAS (CUSTO DIRETO - RS)
Rodovia com revestimento asfáltico	A quente	(24,715 + 0,247xD) por tonelada
	A frio	(22,244 + 0,223xD) por tonelada
Rodovia com revestimento primário	A quente	(24,715 + 0,335xD) por tonelada
	A frio	(22,244 + 0,301xD) por tonelada
Rodovia em leito natural	A quente	(24,715 + 0,354xD) por tonelada
	A frio	(22,244 + 0,318xD) por tonelada
*D = Distância entre o fornecedor e a usina		

Fonte: DNIT.

Se faz necessário um reajustamento do custo de transporte que pode ser obtido através da seguinte equação.

$$R = \frac{Li - Lo}{Lo} \times V$$

Onde:

R = Valor da parcela de reajustamento procurado.

Lo = Índice de preço verificado no mês do orçamento do DNIT.

L_i = índice de preço referente ao mês de reajustamento.

V = Valor a preços iniciais da parcela do contrato de obra ou serviço a ser reajustado.

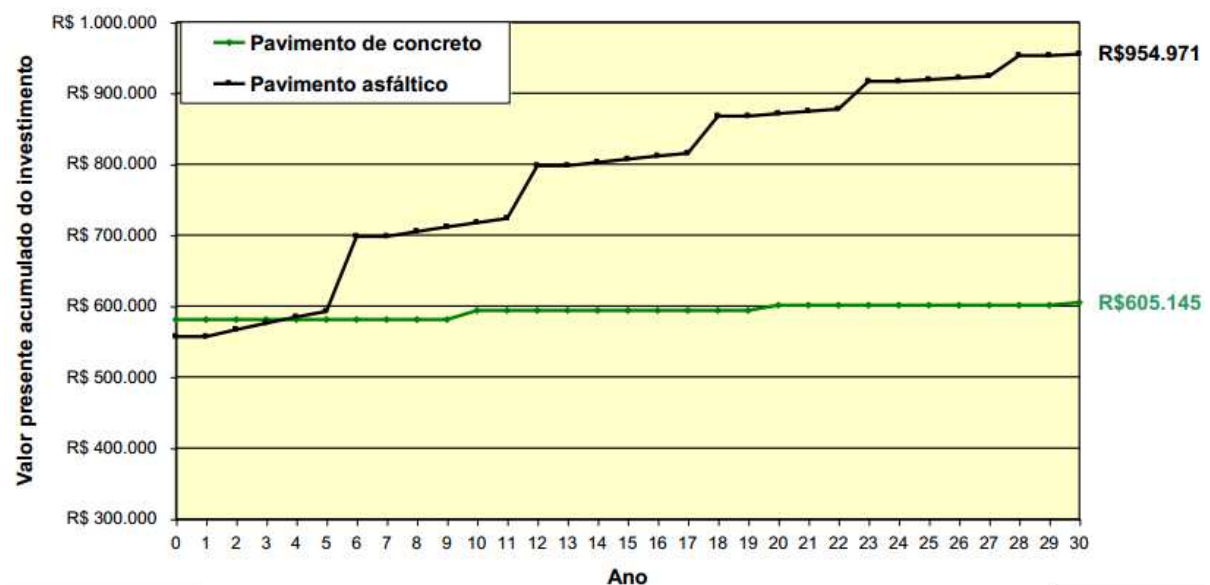
Com o valor reajustado calculado, é necessário considerar um custo de ICMS de 17% para obter o custo de transporte do material desejado, de acordo com a seguinte equação.

$$\text{Custo de transporte} = \frac{\text{Custo direto do transporte}}{1 - \left(\frac{\%ICMS}{100}\right)}$$

Para o custo de manutenção do pavimento de concreto simples será adotado um valor de 4,0% do custo de construção a cada 10 anos, considerando apenas a manutenção nas juntas das placas.

O valor foi definido utilizando como base o estudo representado nas Figuras 10 e 11, elaborado pela ABCP.

Figura 10 - Custo de construção e manutenção dos pavimentos.



Fonte: ABCP.

Figura 11 - Custo de manutenção dos pavimentos



Fonte: ABCP.

O custo de manutenção do pavimento flexível será calculado considerando intervenções a cada 5 anos para a correção de trincas e trilhas de rodas. Com base na experiência própria na área de pavimentos e de acordo com os profissionais consultados, a manutenção se dará através da execução de remendos superficiais com serviços de fresagem descontínua e capeamento em CBUQ com polímero em 20% da área total pavimentada.

4 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados considerando os custos de execução e manutenção dos pavimentos. É importante salientar que os custos calculados aplicam-se somente a esta pesquisa e parâmetros adotados, portanto não se destinam a pavimentos com estruturas diferentes dos que foram considerados para a elaboração deste trabalho. As planilhas e tabelas utilizadas encontram-se entre os Anexos da pesquisa.

4.1 Valores para a construção dos pavimentos

Os valores para a construção de ambos os pavimentos, foram calculados de acordo com a metodologia apresentada no capítulo anterior, através das composições de custo do SICRO 2. Pôde-se notar que o custo necessário para a construção de ambos os pavimentos não ficou muito distante, de acordo com a Tabela 18 que apresenta o custo para a construção dos pavimentos no trecho considerado.

Tabela 18 - Custo para a construção dos pavimentos.

TIPO DE PAVIMENTO	CUSTO
PAVIMENTO FLEXÍVEL	661.390,56
PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES	708.570,65

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Esta diferença menos expressiva deve-se ao fato de que a estrutura considerada para o pavimento flexível, por ter a camada de revestimento do

pavimento composta em CBUQ modificado com polímeros, apresenta um custo maior de construção quando comparada a pavimentos com CBUQ convencional.

Este tipo de CBUQ utiliza materiais como o CAP 55/75 e o RR-1C-E, ambos modificados com polímeros, com um custo de aquisição de R\$ 1.744,30 e R\$ 1.267,00 a tonelada, respectivamente contra um custo de R\$ 1.096,84 e R\$ 980,73 a tonelada, para a aquisição de CAP 50/70 e RR-2C, convencionalmente utilizados (GRECA, 2014).

4.2 Valores para a manutenção dos pavimentos

A manutenção do pavimento flexível foi definida considerando intervenções para a execução de reparos superficiais a cada 5 anos em 20% da área pavimentada, conforme visto anteriormente. O custo foi calculado considerando os serviços necessários para a execução dos reparos, de acordo com a Tabela 19.

Tabela 19 - Serviços necessários para a manutenção do pavimento flexível.

CD.	CÓD. SICRO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE
3	MANUTENÇÃO - PAVIMENTO FLEXÍVEL			
3.1	PISTA DE ROLAMENTO			
2.1.1	5 S 02 990 11	Fresagem Contínua do Pav. (e=5cm)	m³	72,00
2.2.2	5 S 02 400 00	Pintura de Ligação	m²	1.440,00
2.2.3	2 S 02 540 51	CBUQ c/ Polímero (e=5cm)	t	179,86
3.2	FORNECIMENTO DE MATERIAL BETUMINOSO			
3.2.2	PN 22	CAP 55/75 c/ polímeros	t	9,89
3.2.4	PN 24	RR-1C-E c/ polímeros	t	0,58
3.3	TRANSPORTE DO MATERIAL BETUMINOSO			
3.3.1	PN 26	Transporte de asfalto a quente	t	9,89
3.3.2	PN 27	Transporte de asfalto a frio	t	0,58

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os valores foram calculados seguindo a mesma linha de raciocínio utilizada para a construção dos pavimentos, utilizando o SICRO 2 como referência. O custo de manutenção para o pavimento de concreto simples foi definido considerando 4% do custo de construção do mesmo, conforme já mencionado.

Diferente do ocorrido com o custo de construção dos pavimentos, o custo de manutenção apresentou uma diferença significativa, conforme observado na Tabela 20.

Tabela 20 - Custo para manutenção dos pavimentos.

TIPO DE PAVIMENTO	CUSTO	RECORRÊNCIA
PAVIMENTO FLEXÍVEL	40.615,85	5 ANOS
PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES	28.342,83	10 ANOS

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3 Comparação considerando um período de 20 anos.

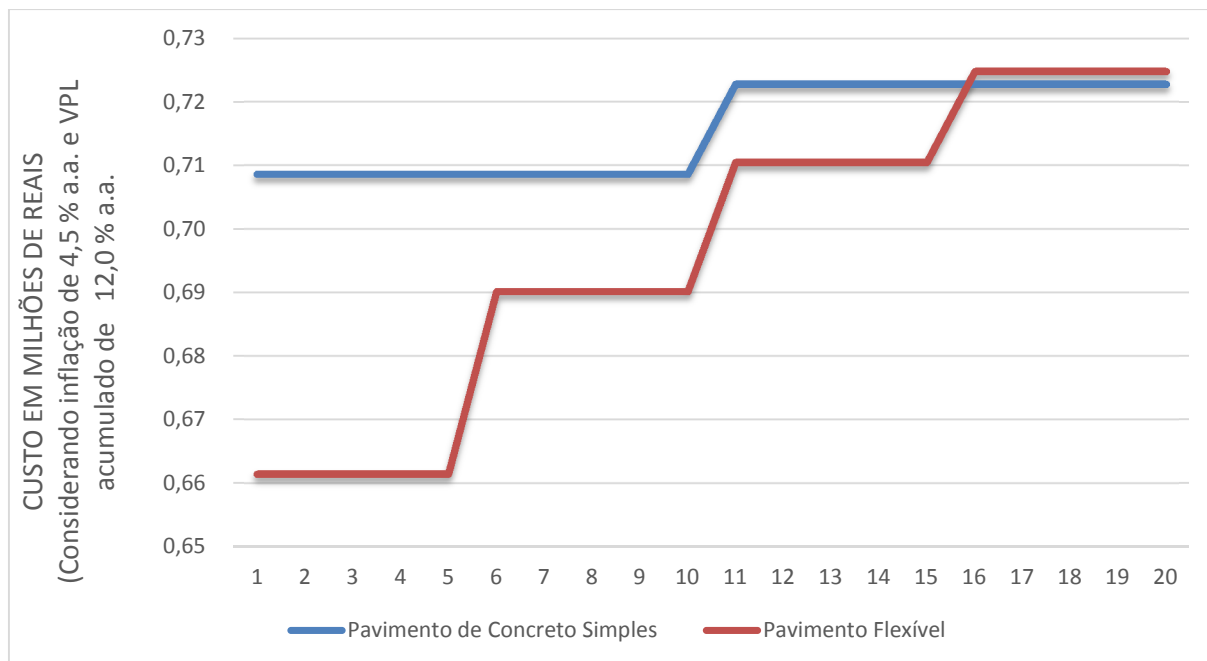
Para a comparação do custo total do pavimento em um período de 20 anos foram elaborados três diferentes cenários. Em todos os cenários, os valores de manutenção são calculados a longo prazo considerando uma taxa de inflação ao ano.

Esta inflação sofrerá uma variação de acordo com o tipo de cenário, sendo que para o cenário otimista, a inflação foi definida em 4,5% ao ano, sendo esta a meta de inflação para o ano de 2015 de acordo com o Banco Central do Brasil (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2013).

Para o cenário moderado, o valor de inflação foi definido em 5,91% ao ano, valor em que foi registrada a inflação média do ano de 2013 de acordo com o IBGE. No cenário pessimista a inflação foi definida pelo autor em 8% ao ano (IBGE, 2014)

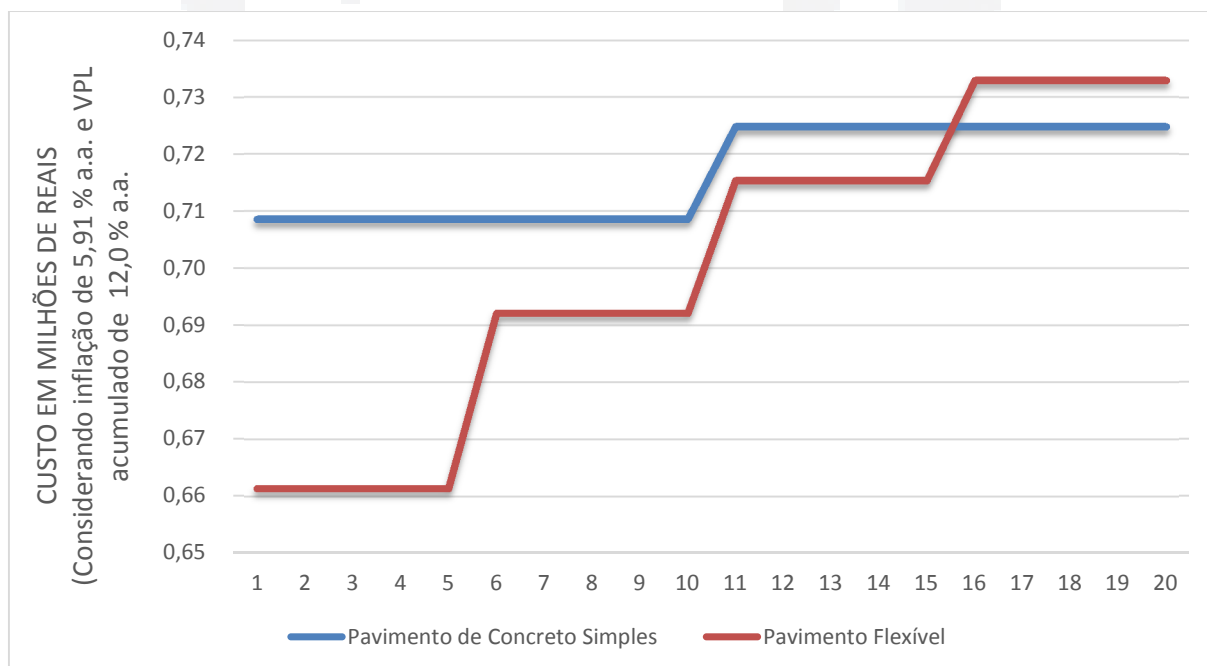
Os valores calculados a longo prazo foram trazidos a valor presente considerando uma taxa de remuneração de 12,00% ao ano, seguindo a tendência de juros a longo prazo, conforme observado nas Figuras, 12, 13 e 14.

Figura 12 - Custo dos pavimentos considerando inflação de 4,50% a.a. e VPL acumulado de 12,00% a.a.



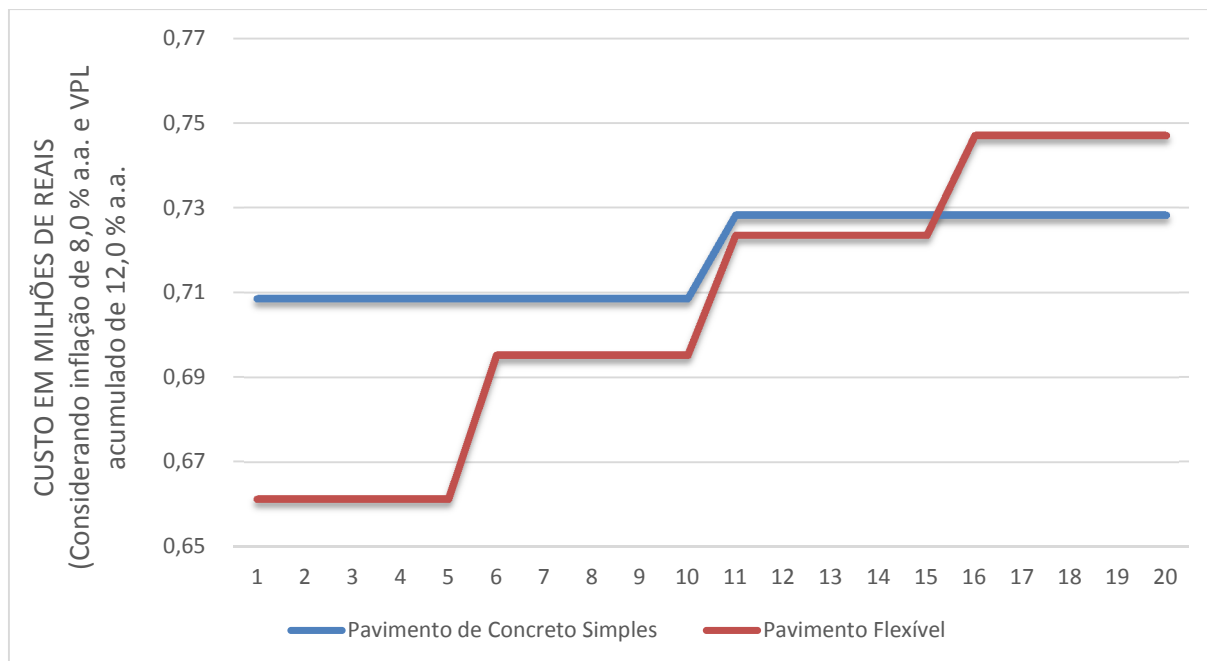
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 13 - Custo dos pavimentos considerando inflação de 5,91% a.a. e VPL acumulado de 12,00% a.a.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 14 - Custo dos pavimentos considerando inflação de 8,00% a.a. e VPL acumulado de 12,00% a.a.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os três cenários mostram que o pavimento de concreto simples passou a ser mais interessante economicamente a partir do décimo quinto ano. Com base nos resultados encontrados é possível afirmar que quanto menor for a inflação, ou seja em uma situação econômica mais favorável, o pavimento flexível pode se tornar alternativa viável para valores de inflação menor que 4,50% a.a.

Porém, quando se trata do atual cenário econômico, o pavimento de concreto simples é a alternativa mais viável, observando que ele sofre menor impacto com a variação do mercado financeiro por ter um custo inferior de manutenção.

5 CONCLUSÃO

Pavimentar uma via garante a ela requisitos como conforto e segurança, buscar cada vez mais pavimentos de boa qualidade, com as melhores características possíveis significa melhorar a condição dos usuários que trafegam diariamente. Proporcionar estes benefícios reduzindo os custos de construção e manutenção é uma busca constante no setor de engenharia.

Observando os gráficos do Capítulo anterior é possível notar que a diferença entre os custos dos pavimentos é mais próxima do que aquela apresentada nos gráficos do Capítulo 3 onde foram justificados os custos de manutenção do pavimento de concreto simples.

Essa diferença menos expressiva justifica-se através do custo de manutenção que foi considerado para o pavimento flexível, que considera a recomposição do pavimento através de reparos superficiais em apenas 20% da área total pavimentada. Ou seja, foram estimados custos de manutenção menores do que os geralmente utilizados em outras pesquisas, considerando apenas intervenções em 20% da área pavimentada, conforme visto anteriormente, o que não fica distante do que é praticado na atualidade, considerando o estado precário de nossas vias.

Comparando os pavimentos quanto ao custo, o pavimento de concreto simples mostrou-se menos competitivo quanto ao custo de implantação em relação ao pavimento flexível, sendo que seu custo apresentou-se 6,66% mais elevado.

Quando a comparação se dá no valor de manutenção considerando o período de 20 anos, o pavimento de concreto simples se mostra mais competitivo, com percentuais de 77,64%, 77,33% e 76,99% inferiores nos cenários otimista, moderado e pessimista quando comparado ao pavimento flexível.

Comparando o custo total dos pavimentos nos três cenários ao longo de um período de 20 anos obteve-se percentuais de 0,28%, 1,11% e 2,51% para os cenários otimista, moderado e pessimista, favoráveis ao pavimento de concreto simples. De acordo com os dados obtidos na pesquisa o pavimento flexível torna-se inviável economicamente quando comparado ao pavimento de concreto simples a partir do décimo quinto ano.

Com base no levantamento bibliográfico, nas comparações feitas entre os dois pavimentos, considerando as características presentes no projeto de duplicação da BR-386/RS, o custo ao longo de um período de 20 anos, leva a concluir que o pavimento de concreto simples é melhor opção quando comparado ao pavimento flexível para esta situação.

Embora aplicado pela primeira vez no Brasil ano de 1922 para a construção da Estrada do Mar, o pavimento de concreto simples, ou a pavimentação rígida é pouco difundida e até nos dias atuais depende de incentivos para ser adotada como opção para pavimentos.

Aliado a isso, a falta de mão de obra capacitada, maquinário adequado e conhecimentos específicos sobre a pavimentação em concreto simples contribuem para que o pavimento flexível se torne a opção mais utilizada atualmente.

Porém é importante salientar que a pavimentação em concreto simples pode vir a amenizar os problemas das rodovias de forma segura e prolongada de acordo com o que foi exposto nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Estradas de concreto** - Este é o caminho do futuro. 2012. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2013/02/Folheto_Estradas_Concreto.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2014.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto**. 1ª Reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução Nº 4.237**: Alexandre Antônio Tombini. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/2013/pdf/res_4237_v1_O.pdf>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica** – formação básica para engenheiros. 3ª ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BIANCHI, Flavia Regina; BRITTO, Isis Raquel Tacla; CASTRO, Verônica Amanda. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto. Salvador, 2008.

CARVALHO, Marcos Dutra. Pavimento de concreto: Reduzindo o custo social. **Vias Concretas**. mar. 2007. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2013/02/2007_Artigo_Pavimento-de-concreto_Reduzindo-o-custo-social.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **031/2004 - ES: Pavimentação: Concreto asfáltico**. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ., 719, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentos rígidos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ., 714, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: IPR. Publ., 723, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Projeto executivo de engenharia das obras prioritárias de melhora da capacidade da BR-386/RS, incluindo a duplicação da pista existente**. Volume 1 – Relatório do projeto executivo e documentos para concorrência. Superintendência regional do Estado do Rio Grande do Sul, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Projeto executivo de engenharia das obras prioritárias de melhora da capacidade da BR-386/RS, incluindo a duplicação da pista existente**. Volume 2 – Projeto básico de execução. Superintendência regional do Estado do Rio Grande do Sul, 2010.

FARIA, Eloir Oliveira. **História dos transportes terrestres no mundo**. UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: < <http://www.transitocomvida.ufrj.br/download/Hist%C3%B3ria%20dos%20transportes%20terrestres.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2014.

G1. Inflação oficial fecha 2013 em 5,91% diz IBGE. **Portal de notícias G1**. Jan. 2014. Disponível em: < <http://g1.globo.com/economia/noticia/2014/01/inflacao-oficial-fecha-2013-em-591-diz-ibge.html>>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

GONÇALVES, Fernando José Pugliero. **Diagnóstico e manutenção de pavimentos** - Ferramentas auxiliares. 1ª Edição. Passo Fundo: UPF Editora, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA ECÔNOMICA APLICADA. **Infraestrutura social Vol.1: Diagnósticos e Perspectivas para 2025**. Brasília, 2010. 408p a 412p.

JOSÉ, Victor. Pesquisa CNT de Rodovias 2013 indica falhas em 63,8% das vias avaliadas. **Portal Transporta Brasil**. nov. 2013. Disponível em: <<http://www.transportabrasil.com.br/2013/11/pesquisa-cnt-de-rodovias-2013-indica-falhas-em-638-das-vias-avaliadas/>>. Acesso em: 30 mai. 2014.

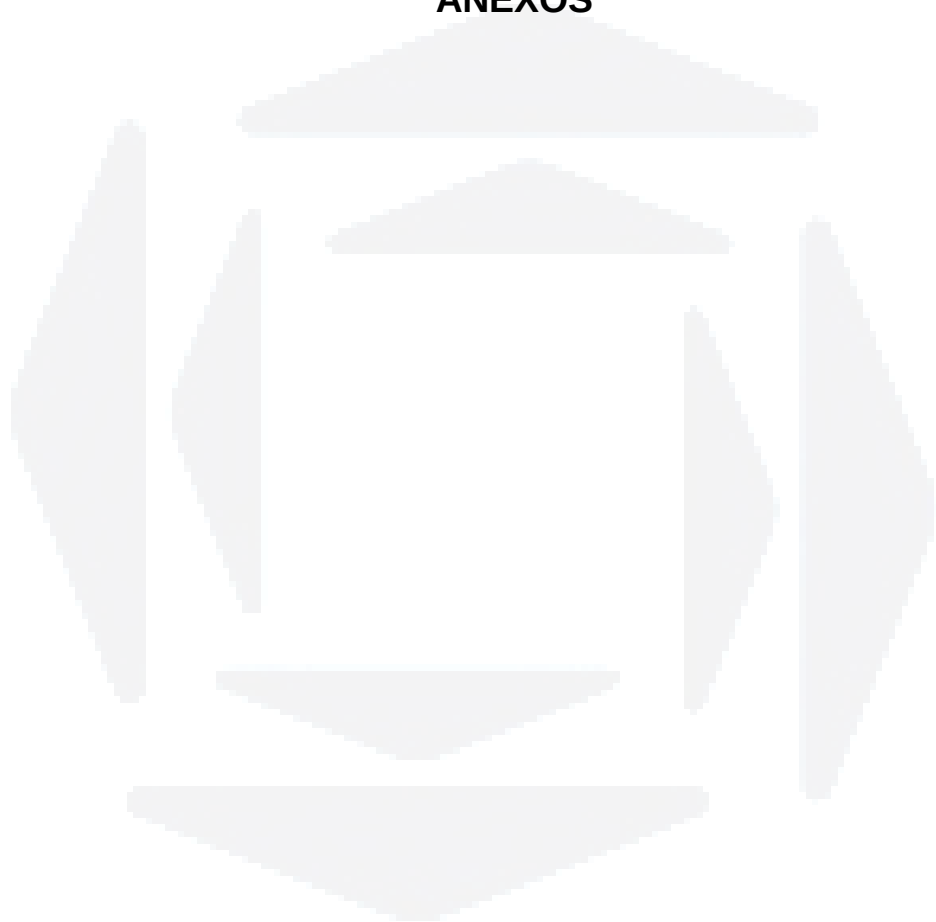
NETO, Guilherme Loretto Guimarães. Estudo comparativo entre a pavimentação flexível e rígida. **Universidade da Amazônia**. 2011. Disponível em: <<http://www.unama.br/novoportal/ensino/graduacao/cursos/engenhariacivil/attachments/article/129/ESTUDO%20COMPARATIVO%20ENTRE%20A%20PAVIMENTACA%20FLEXIVEL.pdf>>. Acesso em: 31 mai. 2014.

PINTO, Salomão.; PREUSSLER, Ernesto. **Pavimentação Rodoviária** – Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. 1ª ed. Rio de Janeiro: Copiarte, 2001.

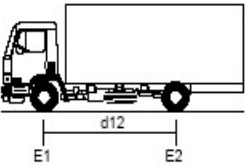
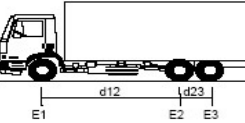
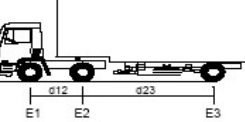
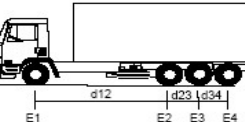
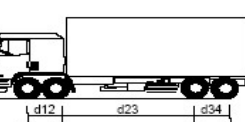
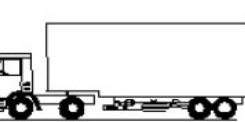
PIRES, Cristine. Rodovias brasileiras na contramão do desenvolvimento econômico. **Inforsurhoy**. fev. 2011. Disponível em: <<http://infosurhoy.com/pt/articles/saii/features/main /2011/02/15/feature-02>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

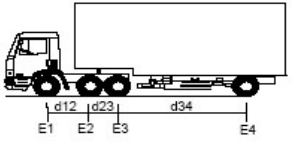
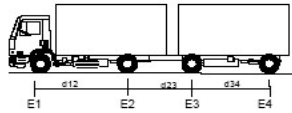
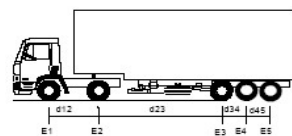
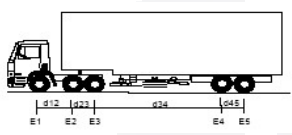
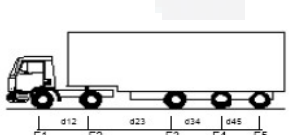
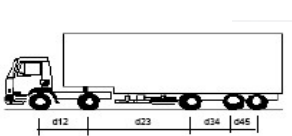
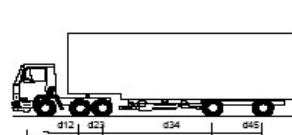
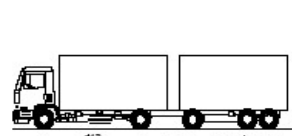
ROSTOVTZEFF, Mikhail. **História de Roma**. 5ª ed. Tradução de: Waltenir Dutra. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1983.

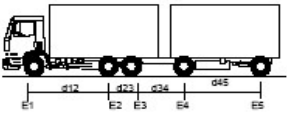
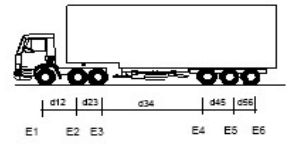
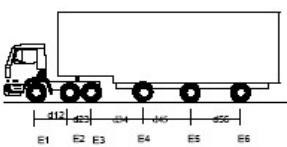
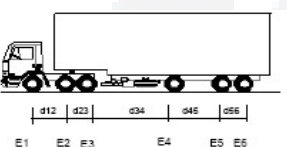
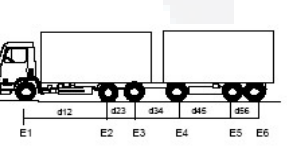
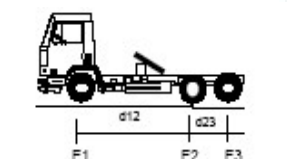
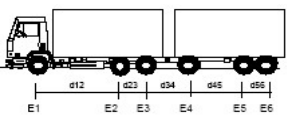
ANEXOS

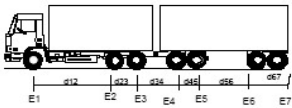
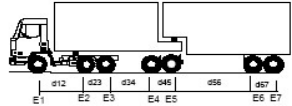
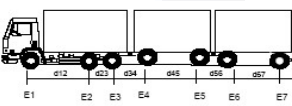
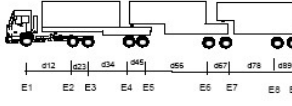
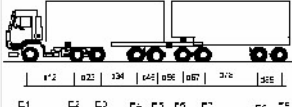
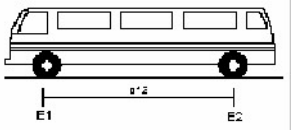


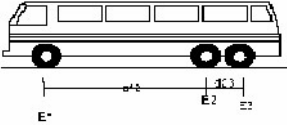
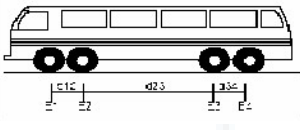
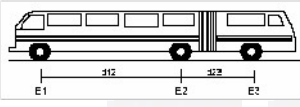
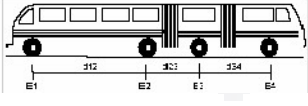
ANEXO 1 - Veículos adotados na classificação do DNIT.

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASS E
	2	16(16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6 Toneladas (t) ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t $d12 \leq 3,50m$	2C
	3	23(24,2)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em Tandem duplo TD, CM = 17t $d12 > 2,40m$ $1,20m < d23 \leq 2,40m$	3C
	3	26(27,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t $d12, d23 > 2,40m$	2S1
	4	31,5(33,1)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = ES, RS, CM 6t E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT; CM = 25,5t $d12 > 2,40$ $1,20m < d23, d34 \leq 2,40m$	4C
	4	29(30,5)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais CED, CM = 12t E3E4 = TD, CM = 17t $1,20m < d34 \leq 2,40m$	4CD
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4 = TD, CM = 17t $d12, d23 > 2,40m$ $1,20m < d34 \leq 2,40m$	2S2
	4	36(37,8)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t $d12, d23, d34 > 2,40m$	2I2

	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d34 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40	3S1
	4	36(37,8)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10m d12, d23, d34 > 2,40m	2C2
	5	41,5(43,6)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD CM10t E3E4E5 = TT, CM 25,5t d12, d23 > 2,40m 1,20m d34, d45 ≤ 2,40m	2S3
	5	40(42)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM17t E4E5 = TD, CM 17t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, d45 ≤ 2,40m	3S2
	5	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34, d45 > 2,40m	2I3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2J3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m	3I2
	5	43(45,2)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2C3

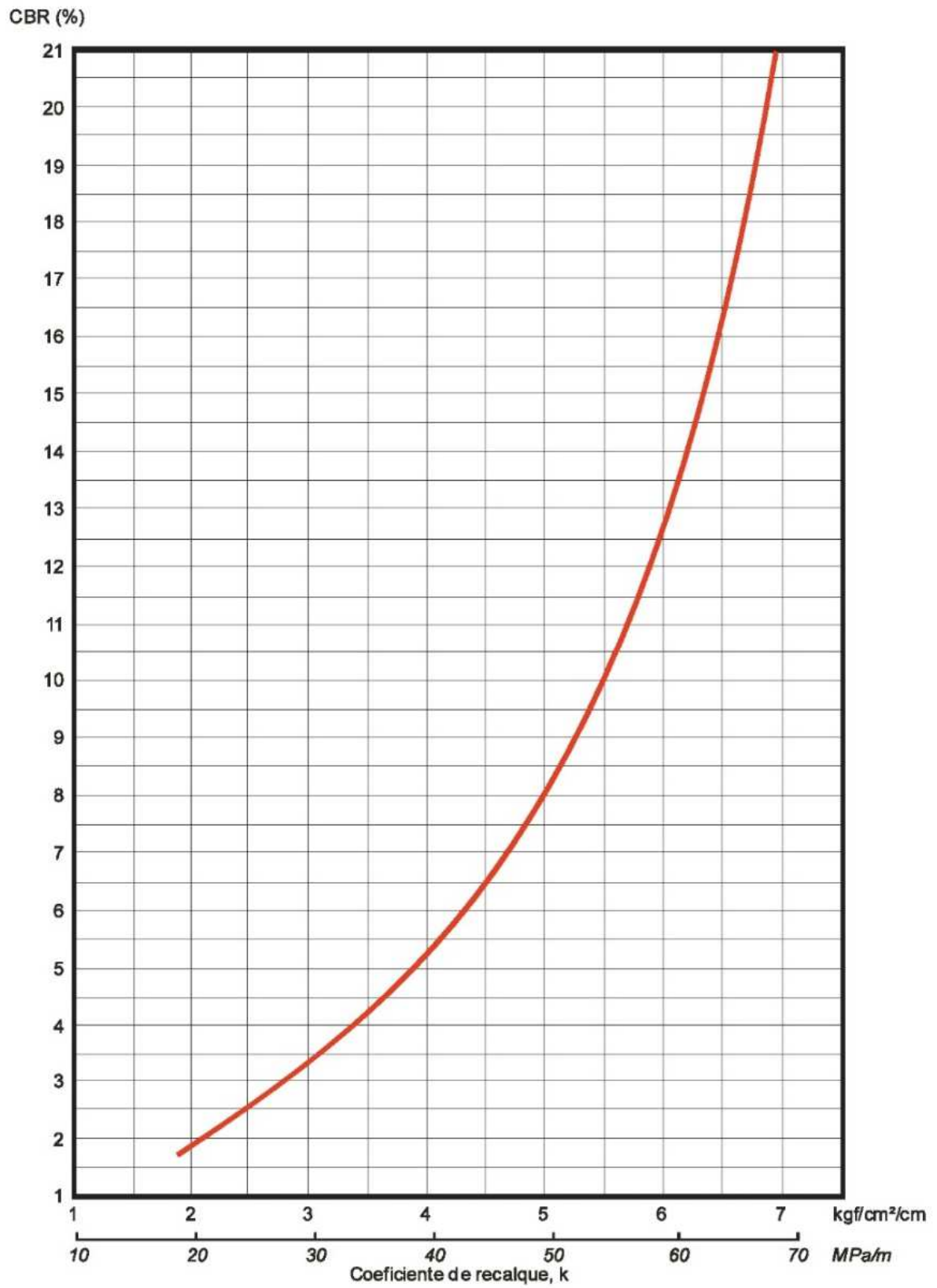
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C2
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	3S3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t	3I3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3
	6	19,5(20,5)	CAMINHÃO TRATOR E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD(6 pneus), CM 13,5t 1,20m < d23 ≤ 2,40m A Capacidade Máxima de Tração (CMT) do conjunto vai variar conforme a capacidade do semi-reboque, no mínimo 10t até, no máximo o limite legal de 4r ton.	X
	6	50(52,5)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3D3

	7	57(59,9)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	57(59,9)	BI TREM ARTICULADO(caminhão trator trucado + dois semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	63(66,2)	TREMINHÃO(caminhão trucado + dois reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t E7 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d56, d67 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3Q4
	9	74(77,7)	TRI TREM(caminhão trator trucado + três semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6
	9	74(77,7)	RODOTREM (caminhão trator trucado + dois semi reboques dom dolly) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6
	2	16(16,8)	ÔNIBUS E1 = ES, RS, CM 6t ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ED, RD, CM 10t d12 ≤ 3,50m	2CB

	3	19,5(20,5)	ÔNIBUS TRUCADO E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t $d_{12} > 2,40\text{m}$ $1,20 < d_{23} \leq 2,40\text{m}$	3CB
	4	25,5(26,8)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais, carga máxima 12 ton E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t $1,20 < d_{34} \leq 2,40\text{m}$	4CB
	3	26(27,3)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t $d_{12}, d_{23} > 2,40\text{m}$	2SB1
	4	36(37,8)	ÔNIBUS URBANO BI-ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t $d_{12}, d_{23}, d_{34} > 2,40\text{m}$	21B2

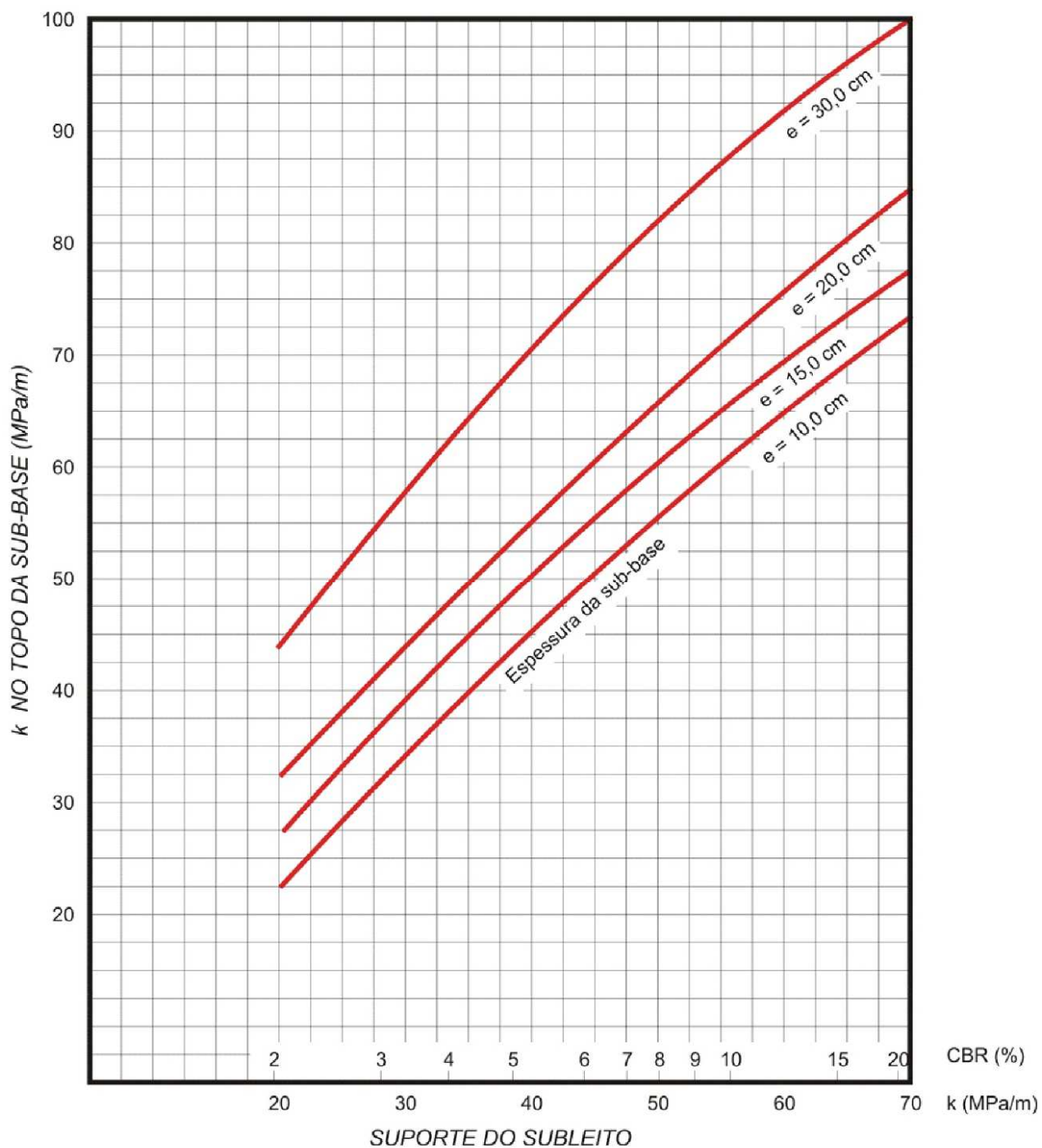
Fonte: DNIT, 2006.

ANEXO 2 - Relação entre o CBR e o k do subleito.



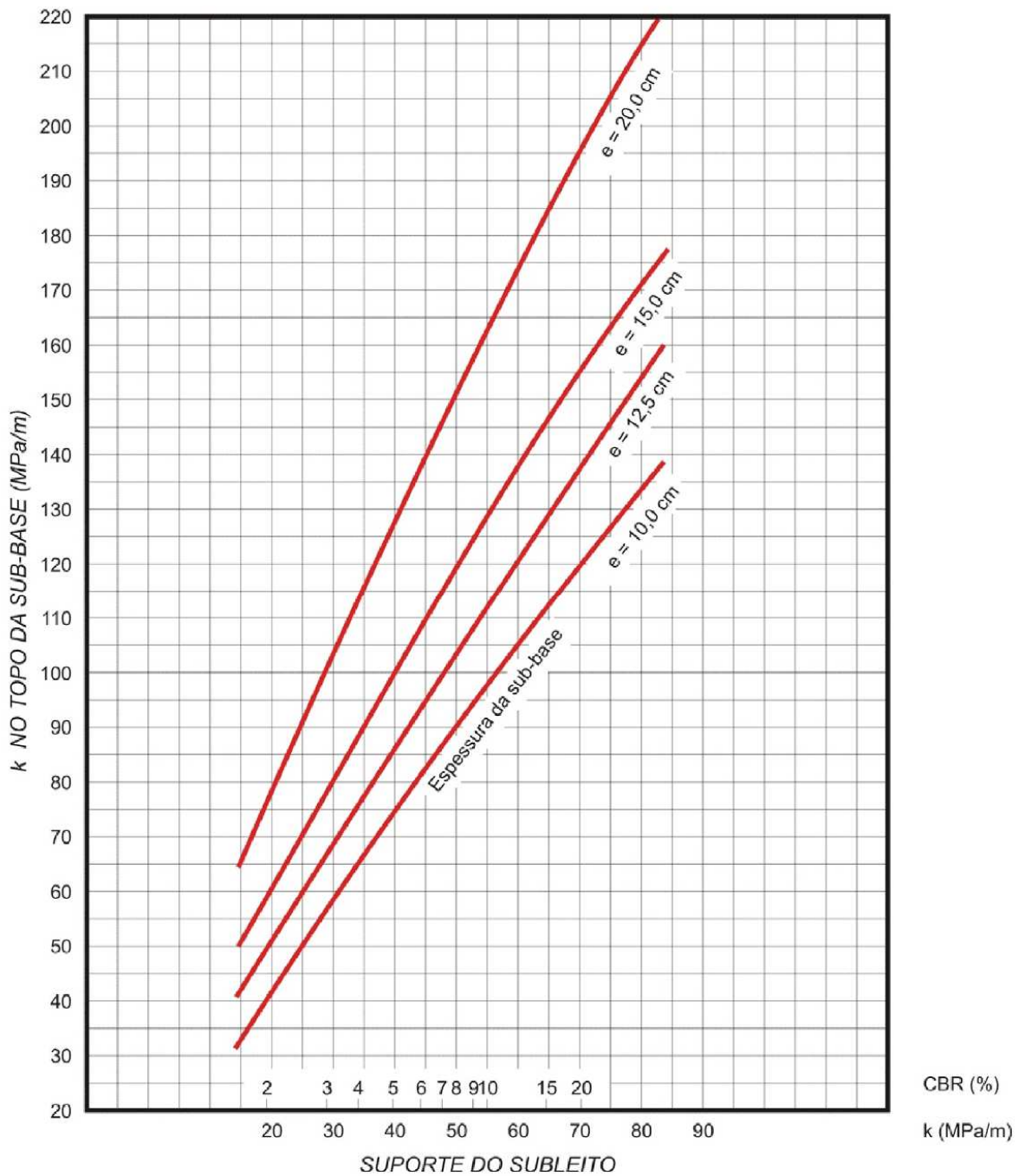
Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 3 - Aumento de k devido à presença de sub-base granular.



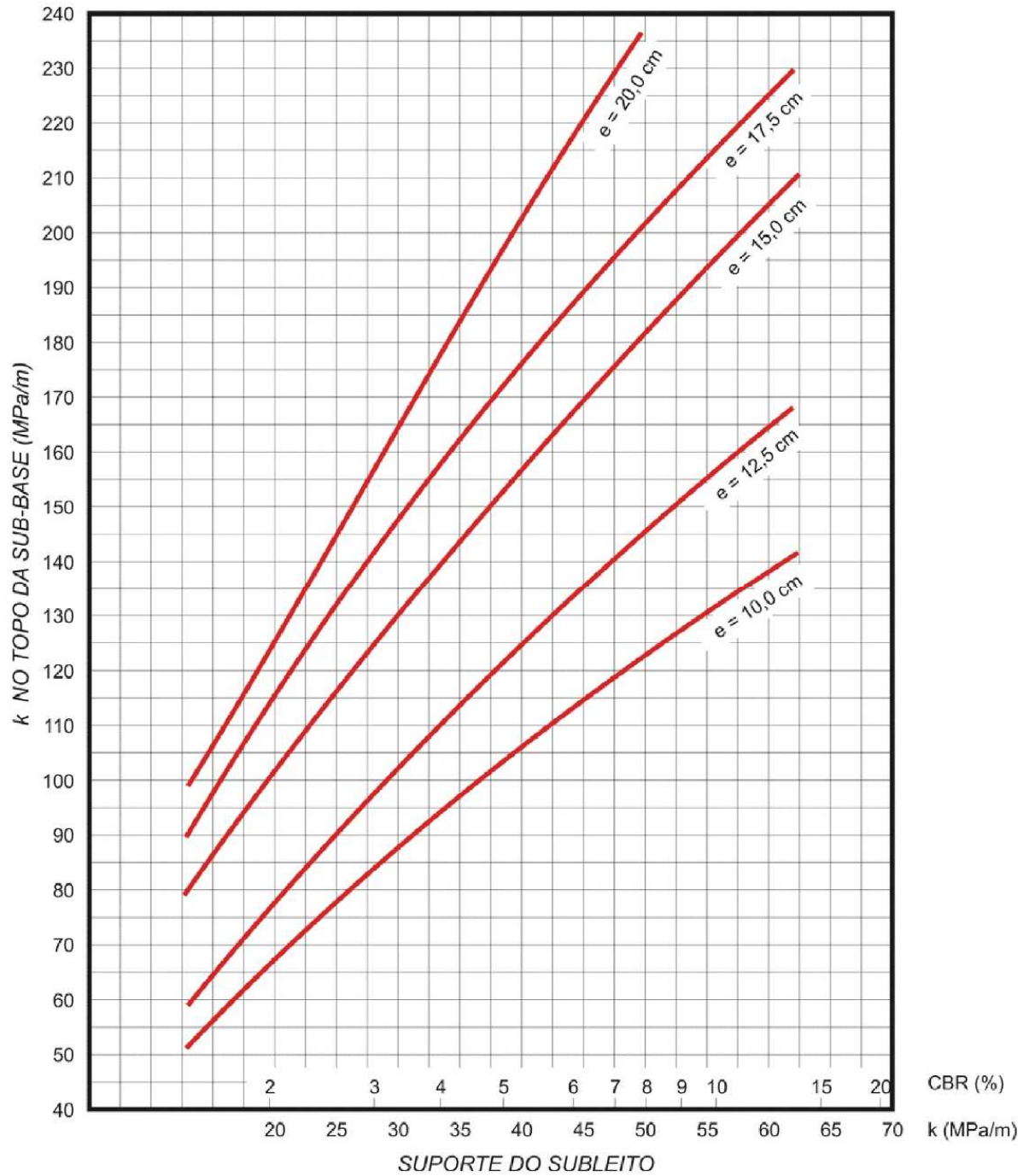
Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 4 - Aumento de k devido à presença de sub-base de brita tratada com cimento.



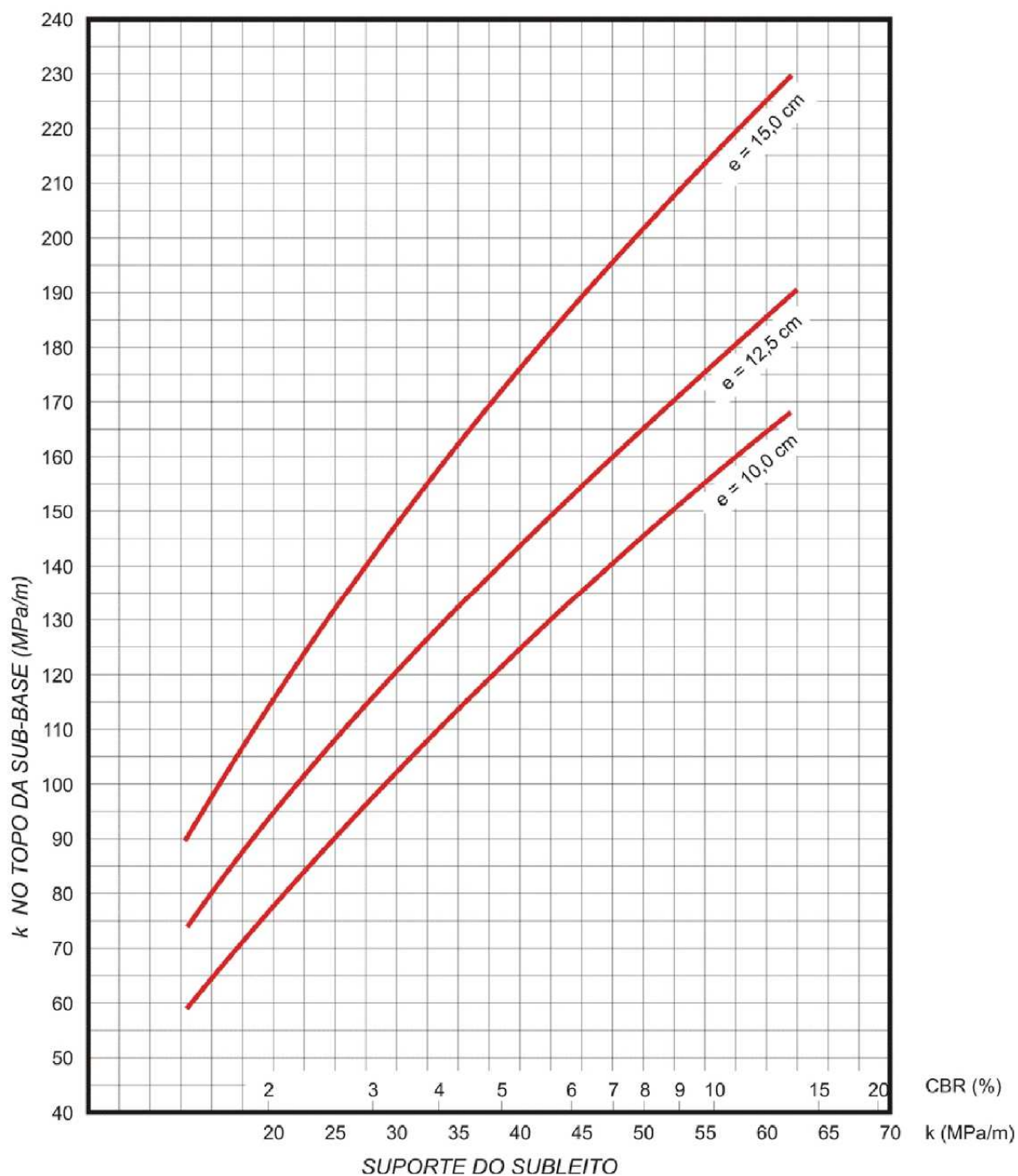
Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 5 - Aumento de k devido à presença de sub-base de solo-cimento.



Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 6 - Aumento de k devido à presença de sub-base de concreto rolado.



Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 7 - Exemplo de cálculo de eixos totais por classe de carga.

Faixa da Carga (tf)	Ônibus (T = 723)		Caminhões de 2 eixos (T = 460)		Caminhões de mais de 2 eixos (T = 1113)		Total de Eixos Solicitantes
	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	
Eixos Simples							
< 5	1348	974.604	1452	667.920	1463	1.628.319	3.270.843
5 - 6	130	93.990	50	23.000	78	86.814	203.804
6 - 7	174	124.802	65	29.900	122	135.786	290.488
7 - 8	130	93.920	57	26.220	106	117.978	238.118
8 - 9	87	62.901	57	26.220	138	153.594	242.715
9 - 10	87	62.901	77	35.420	191	212.583	310.904
10 - 11	43	31.089	96	44.160	186	207.018	282.267
11 - 12			77	35.420	186	207.018	242.438
12 - 13			50	23.000	165	183.645	206.645
13 - 14			15	6.900	53	58.989	65.889
14 - 15			8	3.680	32	35.616	39.296
15 - 16					5	5.565	5.565
Eixos Tandem Duplos							
< 13					164	182.532	182.532
13 - 14					5	5.565	5.565
14 - 15					11	12.243	12.243
15 - 16					11	12.243	12.243
16 - 17					16	17.808	17.808
17 - 18					27	30.051	30.051
18 - 19					21	23.373	23.373
19 - 20					16	17.808	17.808
20 - 21					16	17.808	17.808
21 - 22					11	12.243	12.243
22 - 23					5	5.565	5.565
23 - 24					5	5.565	5.565
Eixos Tandem Triplos							
< 24					27	30.051	30.051
24 - 26					16	17.808	17.808
26 - 28					11	12.243	12.243
28 - 30					17	18.921	18.921

Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 8 - Exemplo de formulário para o cálculo da espessura do pavimento.

Projeto: Pesquisa IPR / Pavimentos Rígidos

Espessura-tentativa: 25 cm

Juntas com BT:

sim ☐

não ☒ x

K_{sb} 100 MPa/m

Acostamento de concreto:

sim ☐

não ☒ x

Resistência característica à tração na flexão 4,8 Mpa

Período de projeto 20 anos

Fator de segurança de cargas, F_{sc} 1,2

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA (20 ANOS)						
Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x F _{sc} (tf)	Nº de repetições previstas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSÃO	
			nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Eixos Simples			(8) Tensão equivalente 1,14		(10) Fator de Erosão 2,72	
			(9) Fator da fadiga 0,238			
< 5	6,0	3.270.843	ilimitado	-	ilimitado	-
5 - 6	7,2	203.804	ilimitado	-	ilimitado	-
6 - 7	8,4	290.488	ilimitado	-	ilimitado	-
7 - 8	9,6	238.118	ilimitado	-	21.200.000	1,1
8 - 9	10,8	242.715	ilimitado	-	8.500.000	2,9
9 - 10	12,0	310.404	ilimitado	-	4.000.000	7,8
10 - 11	13,2	282.267	ilimitado	-	2.500.000	11,3
11 - 12	14,4	242.438	ilimitado	-	1.430.000	17,0
12 - 13	15,6	206.645	ilimitado	-	825.000	25,0
13 - 14	16,8	65.889	6.000.000	1,1	555.000	11,9
14 - 15	18,0	39.296	750.000	5,3	365.000	10,8
15 - 16	19,2	5.565	227.000	2,5	265.000	2,1
Eixos Tandem Duplos			(11) Tensão equivalente 0,99		(12) Fator de erosão 2,89	
			(13) Fator de fadiga 0,206			
< 13	15,6	182.532	ilimitado	-	24.500.000	0,7
13 - 14	16,8	5.565	ilimitado	-	13.000.000	-
14 - 15	18,0	12.243	ilimitado	-	7.500.000	0,2
15 - 16	19,2	12.243	ilimitado	-	5.100.000	0,2
16 - 17	20,4	17.808	ilimitado	-	3.400.000	0,5
17 - 18	21,6	30.051	ilimitado	-	2.700.000	1,1
18 - 19	22,8	23.373	ilimitado	-	1.800.000	1,3
19 - 20	24,0	17.808	ilimitado	-	1.300.000	1,4
20 - 21	25,2	17.808	ilimitado	-	970.000	1,8
21 - 22	26,4	12.243	ilimitado	-	750.000	1,6
22 - 23	27,6	5.565	ilimitado	-	700.000	0,8
23 - 24	28,8	5.565	ilimitado	-	460.000	1,2
Eixos Tandem Triplos			(14) Tensão equivalente 0,99		(15) Fator de erosão 2,89	
			(16) Fator de fadiga 0,206			
< 24	9,6	30.051	ilimitado	-	3.000.000	1,0
24 - 26	10,4	17.808	ilimitado	-	2.100.000	0,8
26 - 28	11,2	12.243	ilimitado	-	1.500.000	0,8
28 - 30	12,0	18.921	ilimitado	-	900.000	2,1
			TOTAL	8,90%	TOTAL	105,4%

Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 9 - Tensão equivalente para eixos simples e tandem duplo (MPa) em pavimentos sem acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)											
	20		40		60		80		100		150	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	3,31	2,68	3,17	2,57	2,91	2,43
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,97	2,40	2,84	2,30	2,61	2,16
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,68	2,16	2,56	2,08	2,37	1,94
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	2,44	1,97	2,33	1,88	2,16	1,75
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	2,23	1,81	2,13	1,73	1,97	1,60
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	2,05	1,67	1,96	1,60	1,81	1,47
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,89	1,55	1,81	1,48	1,68	1,36
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,75	1,45	1,68	1,38	1,56	1,26
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,64	1,36	1,56	1,29	1,45	1,18
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,38	1,52	1,29	1,46	1,22	1,36	1,11
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,42	1,22	1,37	1,15	1,28	1,05
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,33	1,15	1,28	1,09	1,20	0,99
24	1,62	1,59	1,43	1,31	1,33	1,18	1,25	1,10	1,21	1,04	1,13	0,94
25	1,53	1,52	1,35	1,25	1,26	1,12	1,19	1,05	1,14	0,99	1,07	0,89
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,13	1,00	1,08	0,94	1,01	0,85
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	1,07	0,95	1,03	0,90	0,95	0,81
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	1,02	0,91	0,98	0,86	0,90	0,78
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,97	0,88	0,93	0,83	0,86	0,75
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,92	0,85	0,89	0,80	0,82	0,72
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,88	0,81	0,84	0,77	0,78	0,69
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,84	0,78	0,80	0,74	0,75	0,67
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,80	0,76	0,77	0,71	0,72	0,64
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 10 - Tensão equivalente para eixos tandem triplos (Mpa) em pavimentos sem acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)						
	20	40	60	80	140	180	
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	2,60	2,30	2,20	2,14	2,08	2,07	
13	2,35	2,04	1,93	1,87	1,80	1,78	
14	2,15	1,83	1,72	1,65	1,58	1,55	
15	1,99	1,67	1,55	1,48	1,40	1,37	
16	1,85	1,54	1,41	1,34	1,25	1,23	
17	1,73	1,43	1,30	1,23	1,14	1,11	
18	1,62	1,34	1,21	1,14	1,04	1,01	
19	1,53	1,26	1,13	1,06	0,96	0,92	
20	1,45	1,19	1,07	0,99	0,89	0,85	
21	1,37	1,13	1,01	0,93	0,83	0,79	
22	1,30	1,07	0,95	0,88	0,78	0,74	
23	1,24	1,02	0,91	0,84	0,73	0,70	
24	1,18	0,97	0,87	0,80	0,69	0,66	
25	1,13	0,93	0,83	0,76	0,66	0,62	
26	1,07	0,89	0,79	0,73	0,63	0,59	
27	1,02	0,86	0,76	0,70	0,60	0,57	
28	0,98	0,82	0,73	0,67	0,58	0,54	
29	0,93	0,79	0,71	0,65	0,55	0,52	
30	0,89	0,76	0,68	0,63	0,53	0,50	
31	0,85	0,73	0,66	0,60	0,51	0,48	
32	0,81	0,70	0,63	0,58	0,50	0,46	
33	0,77	0,68	0,61	0,56	0,48	0,45	
34	0,73	0,65	0,59	0,55	0,46	0,43	

ETT: Eixos Tandem Triplos

ANEXO 11 - Tensão equivalente para eixos simples e tandem duplo (Mpa) em pavimentos com acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		180	
	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	1,73	1,46	1,61	1,38	1,55	1,33
17	2,11	1,85	1,86	1,58	1,74	1,46	1,66	1,39	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	1,44	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	68,00	0,71	0,64	0,69	0,61	0,65	0,56	0,62	0,53
33	0,86	0,86	0,76	0,92	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

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 12 - Tensão equivalente para eixos tandem triplos (Mpa) em pavimentos com acostamento de concreto.

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

ETT: Eixos Tandem Triplos

ANEXO 13 - Fator de erosão para eixos simples e tandem duplos em pavimentos sem barras de transferência e pavimento de concreto.

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	2,72	3,82	3,69	3,74	3,67	3,69	3,65	3,67	3,64	3,65	3,63	3,61	3,59	3,58
13	3,62	3,75	3,59	3,66	3,57	3,61	3,55	3,59	3,54	3,57	3,52	3,52	3,49	3,49
14	3,53	3,68	3,50	3,59	3,48	3,53	3,46	3,51	3,45	3,49	3,43	3,44	3,40	3,41
15	3,45	3,61	3,41	3,52	3,39	3,46	3,37	3,44	3,36	3,42	3,34	3,37	3,31	3,34
16	3,37	3,55	3,33	3,46	3,31	3,40	3,29	3,37	3,28	3,35	3,26	3,30	3,23	3,26
17	3,30	3,50	3,26	3,40	3,23	3,34	3,21	3,31	3,20	3,29	3,18	3,23	3,16	3,20
18	3,23	3,44	3,18	3,34	3,16	3,28	3,14	3,25	3,13	3,23	3,11	3,17	3,09	3,13
19	3,17	3,39	3,12	3,29	3,09	3,23	3,07	3,19	3,06	3,17	3,04	3,11	3,02	3,07
20	3,11	3,35	3,05	3,24	3,03	3,17	3,01	3,14	3,00	3,12	2,98	3,05	2,96	3,02
21	3,05	3,30	2,99	3,19	2,97	3,13	2,95	3,09	2,94	3,07	2,92	3,00	2,90	2,96
22	3,00	3,26	2,94	3,15	2,91	3,08	2,89	3,04	2,88	3,02	2,86	2,85	2,84	2,91
23	2,94	3,22	2,88	3,11	2,85	3,03	2,83	2,99	2,82	2,97	2,80	2,90	2,78	2,86
24	2,90	3,18	2,84	3,07	2,80	2,99	2,78	2,95	2,77	2,93	2,75	2,86	2,73	2,82
25	2,86	3,14	2,78	3,03	2,76	2,96	2,73	2,91	2,72	2,89	2,70	2,82	2,68	2,78
26	2,81	3,11	2,75	2,99	2,71	2,92	2,69	2,88	2,68	2,86	2,65	2,71	2,63	2,74
27	2,77	3,08	2,70	2,96	2,67	2,89	2,64	2,84	2,63	2,82	2,61	2,75	2,59	2,71
28	2,73	3,05	2,66	2,93	2,62	2,85	2,60	2,81	2,59	2,79	2,56	2,71	2,54	2,67
29	2,70	3,02	2,62	2,90	2,58	2,82	2,56	2,78	2,55	2,75	2,52	2,68	2,50	2,64
30	2,66	2,99	2,59	2,86	2,54	2,79	2,51	2,75	2,50	2,72	2,48	2,64	2,46	2,60
31	2,63	2,96	2,55	2,83	2,50	2,76	2,48	2,72	2,47	2,69	2,44	2,61	2,42	2,57
32	2,59	2,93	2,51	2,81	2,47	2,73	2,44	2,69	2,43	2,66	2,40	2,58	2,38	2,54
33	2,56	2,90	2,48	2,78	2,43	2,70	2,40	2,66	2,39	2,63	2,36	2,55	2,34	2,51
34	2,53	2,88	2,45	2,75	2,40	2,67	2,37	2,63	2,36	2,60	2,32	2,52	2,30	2,48

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

ANEXO 14 - Fator de erosão para eixos tandem triplos em pavimentos sem barras de transferências e acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)						
	20	40	60	80	140	180	
12	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
13	3,85	3,75	3,70	3,66	3,57	3,53	3,53
14	3,77	3,68	3,62	3,58	3,50	3,45	3,45
15	3,70	3,60	3,55	3,51	3,42	3,38	3,38
16	3,64	3,54	3,48	3,44	3,36	3,32	3,32
17	3,58	3,47	3,42	3,38	3,29	3,25	3,25
18	3,52	3,42	3,36	3,32	3,23	3,19	3,19
19	3,47	3,36	3,30	3,26	3,18	3,14	3,14
20	3,42	3,31	3,25	3,21	3,13	3,09	3,09
21	3,37	3,26	3,20	3,16	3,08	3,04	3,04
22	3,33	3,22	3,16	3,11	3,03	2,99	2,99
23	3,29	3,18	3,11	3,07	2,99	2,95	2,95
24	3,25	3,13	3,07	3,03	2,94	2,91	2,91
25	3,21	3,10	3,03	2,99	2,90	2,86	2,86
26	3,17	3,06	2,99	2,95	2,87	2,83	2,83
27	3,14	3,02	2,96	2,91	2,83	2,79	2,79
28	3,10	2,99	2,92	2,88	2,79	2,75	2,75
29	3,07	2,96	2,89	2,85	2,76	2,72	2,72
30	3,04	2,92	2,86	2,81	2,73	2,69	2,69
31	3,01	2,89	2,83	2,78	2,69	2,65	2,65
32	2,98	2,87	2,80	2,75	2,66	2,62	2,62
33	2,96	2,84	2,77	2,72	2,63	2,59	2,59
34	2,93	2,81	2,74	2,70	2,61	2,57	2,57
34	2,91	2,81	2,72	2,67	2,58	2,54	2,54

ETT: Eixos Tandem Triplos

ETT: Eixos Tandem Triplos

ANEXO 15 - Fator de erosão para eixos simples e tandem duplos em pavimentos sem barras de transferência, com acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)											
	20		40		60		80		100		150	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,25	3,29	3,20	3,19	3,18	3,13	3,17	3,11	3,16	3,09	3,13	3,04
13	3,16	3,23	3,11	3,12	3,09	3,06	3,08	3,04	3,06	3,02	3,03	2,97
14	3,08	3,17	3,03	3,06	3,00	2,99	2,99	2,97	2,98	2,95	2,95	2,90
15	3,00	3,11	2,95	3,00	2,92	2,93	2,91	2,91	2,90	2,88	2,87	2,83
16	2,93	3,06	2,88	2,94	2,85	2,88	2,84	2,85	2,82	2,82	2,79	2,77
17	2,87	3,01	2,81	2,89	2,78	2,82	2,77	2,79	2,75	2,77	2,72	2,71
18	2,80	2,97	2,74	2,84	2,71	2,77	2,70	2,74	2,69	2,71	2,66	2,65
19	2,74	2,92	2,68	2,80	2,65	2,72	2,64	2,69	2,62	2,66	2,59	2,60
20	2,69	2,88	2,62	2,76	2,59	2,68	2,58	2,64	2,56	2,62	2,53	2,55
21	2,63	2,84	2,57	2,71	2,53	2,64	2,52	2,60	2,51	2,57	2,48	2,50
22	2,58	2,80	2,51	2,68	2,48	2,59	2,47	2,56	2,45	2,53	2,42	2,46
23	2,53	2,77	2,46	2,64	2,43	2,55	2,42	2,51	2,40	2,48	2,37	2,41
24	2,48	2,74	2,42	2,60	2,38	2,52	2,37	2,48	2,36	2,45	2,33	2,31
25	2,44	2,71	2,37	2,57	2,34	2,49	2,33	2,45	2,31	2,42	2,28	2,34
26	2,40	2,68	2,33	2,54	2,30	2,46	2,28	2,41	2,27	2,38	2,24	2,31
27	2,36	2,65	2,29	2,51	2,26	2,43	2,24	2,38	2,22	2,35	2,20	2,27
28	2,33	2,62	2,25	2,49	2,22	2,40	2,20	2,35	2,18	2,32	2,16	2,24
29	2,29	2,60	2,22	2,46	2,18	2,37	2,16	2,33	2,14	2,30	2,12	2,21
30	2,26	2,57	2,18	2,43	2,15	2,53	2,12	2,30	2,11	2,27	2,08	2,18
31	2,22	2,55	2,15	2,41	2,11	2,32	2,09	2,27	2,07	2,24	2,04	2,15
32	2,19	2,52	2,11	2,38	2,08	2,29	2,05	2,25	2,03	2,22	2,01	2,13
33	2,16	2,50	2,08	2,36	2,04	2,27	2,02	2,22	2,00	2,19	1,99	2,10
34	2,13	2,48	2,05	2,34	2,01	2,25	1,98	2,20	1,97	2,17	1,94	2,07

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

ANEXO 16 - Fator de erosão para eixos tandem triplos em pavimentos sem barras de transferências, com acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)							
	20	40	60	80	140	180		
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT		
12	3,29	3,18	3,12	3,09	3,02	2,99		
13	3,23	3,11	3,05	30,10	2,94	2,91		
14	3,17	3,04	2,98	2,94	2,87	2,83		
15	3,12	2,99	2,92	2,88	2,80	2,77		
16	3,08	2,94	2,87	2,82	2,74	2,70		
17	3,03	2,89	2,82	2,77	2,69	2,65		
18	2,99	2,85	2,77	2,72	2,60	2,60		
19	2,96	2,81	2,73	2,68	2,59	2,55		
20	2,93	2,77	2,69	2,64	2,54	2,50		
21	2,89	2,74	2,65	2,60	2,50	2,46		
22	2,87	2,71	2,62	2,56	2,47	2,42		
23	2,84	2,68	2,59	2,53	2,43	2,38		
24	2,81	2,65	2,56	2,50	2,40	2,35		
25	2,79	2,62	2,53	2,47	2,37	2,29		
26	2,77	2,60	2,50	2,44	2,34	2,26		
27	2,74	2,57	2,48	2,39	2,31	2,23		
28	2,72	2,55	2,46	2,37	2,28	2,20		
29	2,70	2,53	2,43	2,35	2,26	2,20		
30	2,68	2,51	2,41	2,33	2,23	2,18		
31	2,67	2,49	2,39	2,31	2,21	2,16		
32	2,65	2,47	2,37	2,29	2,19	2,13		
33	2,63	2,45	2,35	2,27	2,17	2,11		
34	2,61	2,43	2,33	2,27	2,15	2,09		

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 17 - Fator de erosão para eixos simples e tandem duplos em pavimentos com barras de transferência, sem acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)											
	20			40			60			80		
	ES	ETD		ES	ETD		ES	ETD		ES	ETD	
12	3,51	3,61		3,50	3,57		3,49	3,54		3,48	3,52	
13	3,41	3,53		3,39	3,48		3,39	3,45		3,38	3,43	
14	3,32	3,45		3,30	3,39		3,29	3,36		3,28	3,34	
15	3,23	3,45		3,21	3,31		3,20	3,28		3,19	3,26	
16	3,15	3,37		3,12	3,24		3,12	3,21		3,10	3,18	
17	3,07	3,30		3,05	3,17		3,04	3,14		3,02	3,11	
18	2,99	3,24		2,97	3,11		2,96	3,07		2,95	3,05	
19	2,93	3,18		2,90	3,05		2,89	3,01		2,88	2,98	
20	2,86	3,12		2,83	3,00		2,83	2,95		2,81	2,92	
21	2,80	3,06		2,77	2,93		2,76	2,89		2,74	2,86	
22	2,74	3,01		2,71	2,88		2,70	2,84		2,68	2,81	
23	2,68	2,96		2,65	2,83		2,64	2,79		2,62	2,76	
24	2,63	2,91		2,60	2,78		2,59	2,74		2,57	2,71	
25	2,58	2,87		2,54	2,74		2,54	2,69		2,52	2,67	
26	2,53	2,83		2,50	2,70		2,49	2,65		2,47	2,62	
27	2,48	2,79		2,45	2,66		2,44	2,61		2,42	2,58	
28	2,43	2,75		2,40	2,63		2,39	2,57		2,37	2,54	
29	2,39	2,72		2,36	2,59		2,35	2,54		2,33	2,51	
30	2,43	2,69		2,31	2,56		2,30	2,50		2,28	2,47	
31	2,30	2,65		2,27	2,52		2,26	2,47		2,24	2,43	
32	2,26	2,62		2,23	2,49		2,22	2,43		2,20	2,40	
33	2,22	2,59		2,19	2,46		2,18	2,40		2,16	2,37	
34	2,18	2,56		2,15	2,43		2,14	2,37		2,12	2,33	

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 18 - Fator de erosão para eixos tandem triplos em pavimentos com barras de transferência, sem acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	3,68	3,60	3,56	3,52	3,45	3,40
13	3,60	3,51	3,47	3,44	3,37	3,33
14	3,53	3,43	3,39	3,36	3,29	3,26
15	3,47	3,36	3,31	3,28	3,22	3,19
16	3,41	3,30	3,25	3,21	3,15	3,12
17	3,35	3,24	3,19	3,15	3,08	3,05
18	3,30	3,19	3,13	3,09	3,02	2,99
19	3,25	3,14	3,08	3,04	2,96	2,93
20	3,21	3,09	3,03	2,99	2,91	2,88
21	3,16	3,05	2,99	2,94	2,86	2,83
22	3,12	3,01	2,94	2,90	2,82	2,78
23	3,08	2,97	2,90	2,86	2,77	2,74
24	3,05	2,93	2,86	2,82	2,73	2,69
25	3,01	2,89	2,83	2,78	2,69	2,65
26	2,98	2,86	2,79	2,74	2,66	2,62
27	2,94	2,82	2,76	2,71	2,66	2,58
28	2,91	2,79	2,72	2,68	2,59	2,55
29	2,88	2,76	2,69	2,65	2,55	2,51
30	2,85	2,73	2,66	2,62	2,52	2,48
31	2,82	2,70	2,63	2,59	2,49	2,45
32	2,80	2,68	2,61	2,56	2,46	2,42
33	2,77	2,65	2,58	2,53	2,44	2,40
34	2,74	2,62	2,55	2,50	2,41	2,37

ETT: Eixos Tandem Triplos

ANEXO 19 - Fator de erosão para eixos simples e tandem duplo em pavimentos com barras de transferência e acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)											
	20		40		60		80		100		150	
	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
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
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
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
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
17	2,64	2,78	2,60	2,68	2,58	2,60	2,55	2,57	2,54	2,54	2,52	2,48
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
19	2,51	2,69	2,47	2,57	2,44	2,50	2,41	2,46	2,40	2,43	2,38	2,36
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
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
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
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
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
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
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
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
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
29	2,03	2,28	1,97	2,19	1,94	2,11	1,91	2,07	1,90	2,04	1,88	1,93
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
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
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
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
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

ES: Eixos Simples

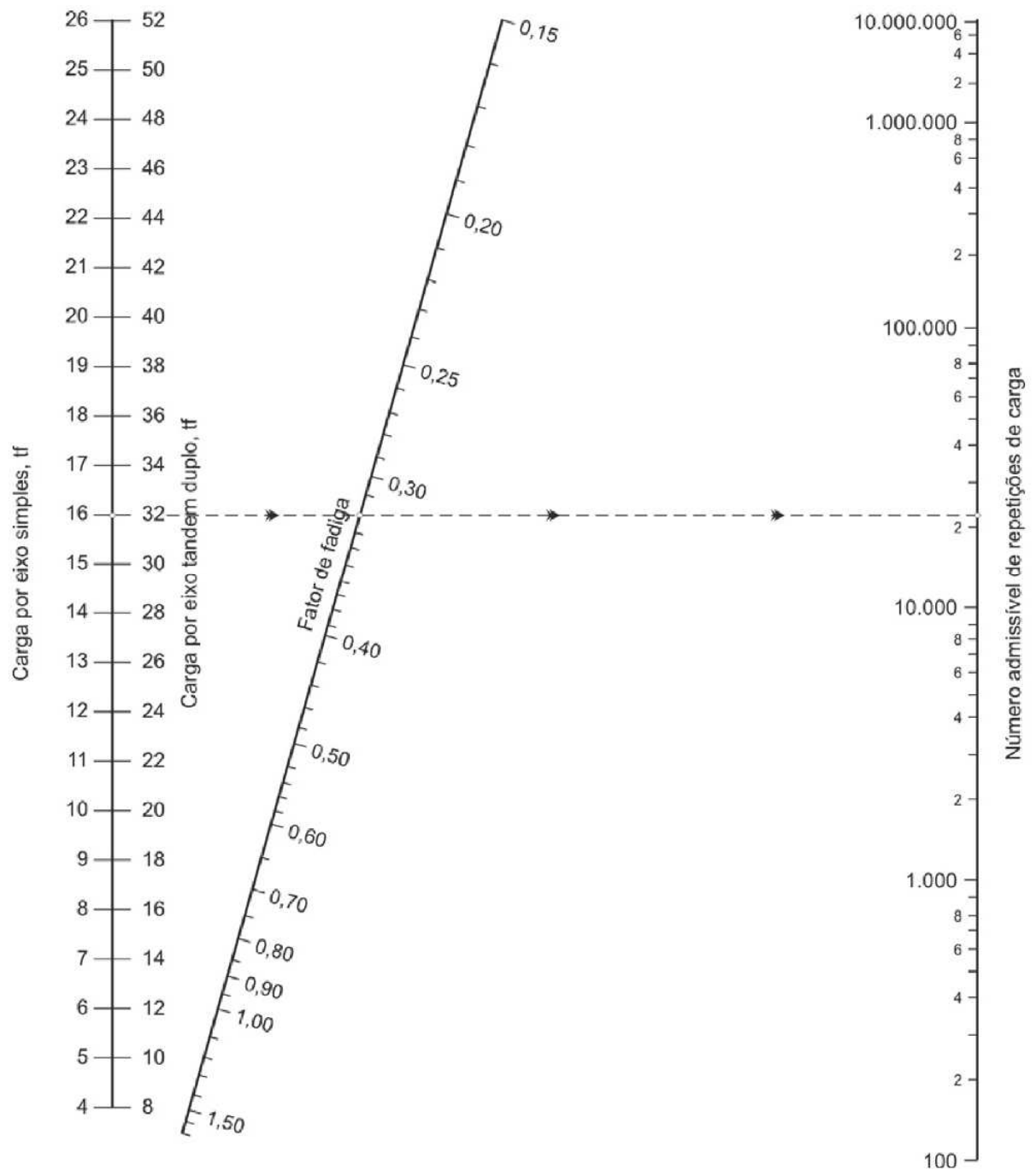
ETD: Eixos Tandem Duplos

ANEXO 20 - Fator de erosão para eixos tandem triplos em pavimentos com barras de transferência e acostamento em concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
12	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
13	3,12	2,99	2,93	2,90	2,85	2,82
14	3,06	2,92	2,85	2,81	2,76	2,73
15	3,00	2,86	2,78	2,74	2,67	2,64
16	2,95	2,80	2,73	2,67	2,59	2,56
17	2,91	2,76	2,67	2,62	2,52	2,49
18	2,86	2,71	2,62	2,57	2,47	2,43
19	2,82	2,67	2,58	2,52	2,41	2,37
20	2,79	2,63	2,54	2,48	2,37	2,32
21	2,75	2,59	2,50	2,44	2,32	2,28
22	2,72	2,56	2,47	2,40	2,28	2,23
23	2,68	2,53	2,43	2,37	2,25	2,20
24	2,65	2,49	2,40	2,34	2,21	2,16
25	2,62	2,46	2,37	2,31	2,18	2,13
26	2,59	2,44	2,34	2,28	2,15	2,10
27	2,57	2,41	2,32	2,25	2,12	2,07
28	2,54	2,38	2,29	2,22	2,10	2,04
29	2,51	2,36	2,26	2,20	2,07	2,01
30	2,49	2,33	2,24	2,17	2,04	1,99
31	2,47	2,31	2,22	2,15	2,02	1,96
32	2,44	2,29	2,19	2,13	2,00	1,94
33	2,42	2,26	2,17	2,10	1,97	1,92
34	2,40	2,24	2,15	2,08	1,95	1,89
35	2,38	2,22	2,13	2,06	1,93	1,87

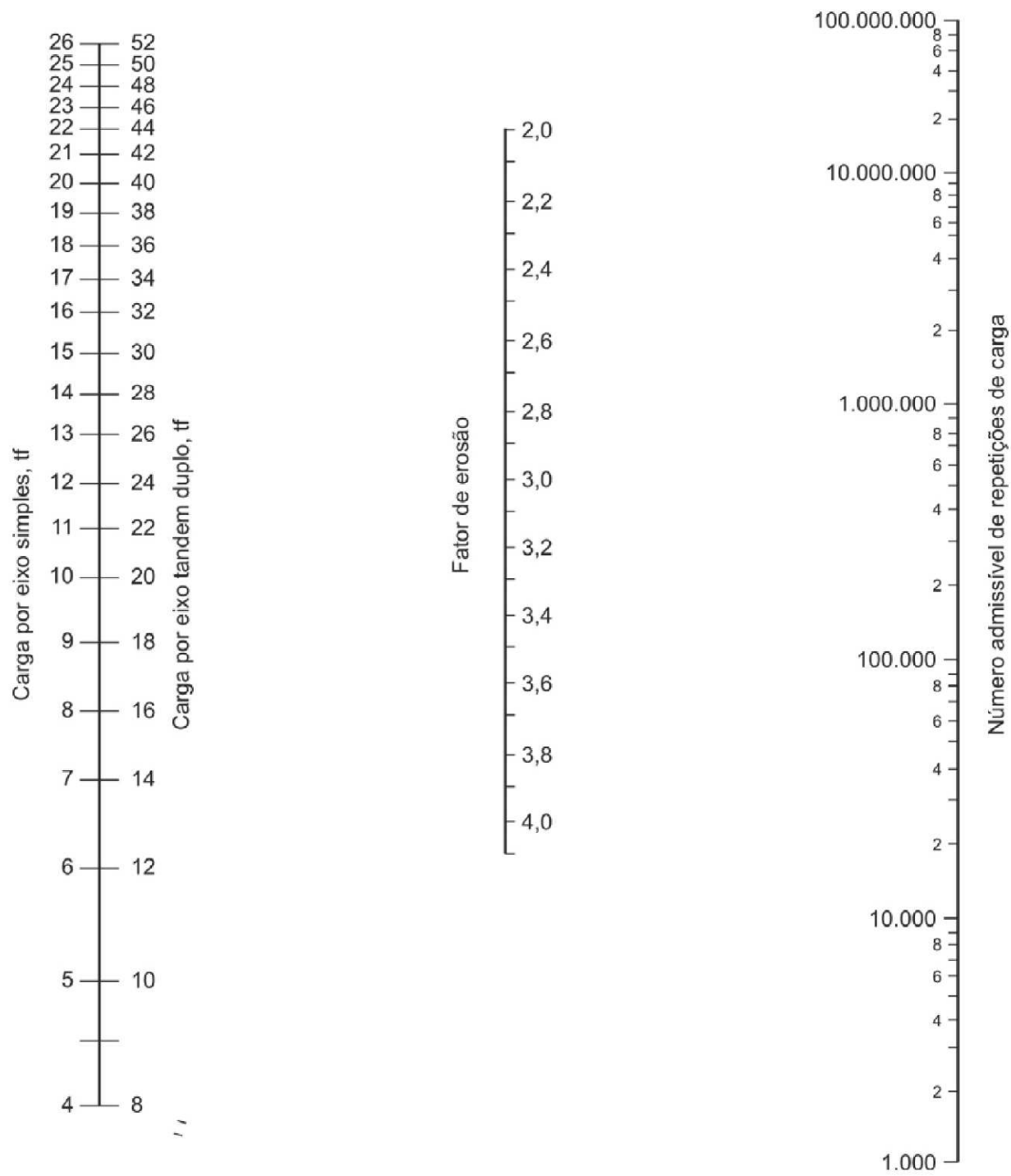
ETT: Eixos Tandem Triplos

ANEXO 21 - Análise de fadiga - número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga, com ou sem acostamento de concreto.



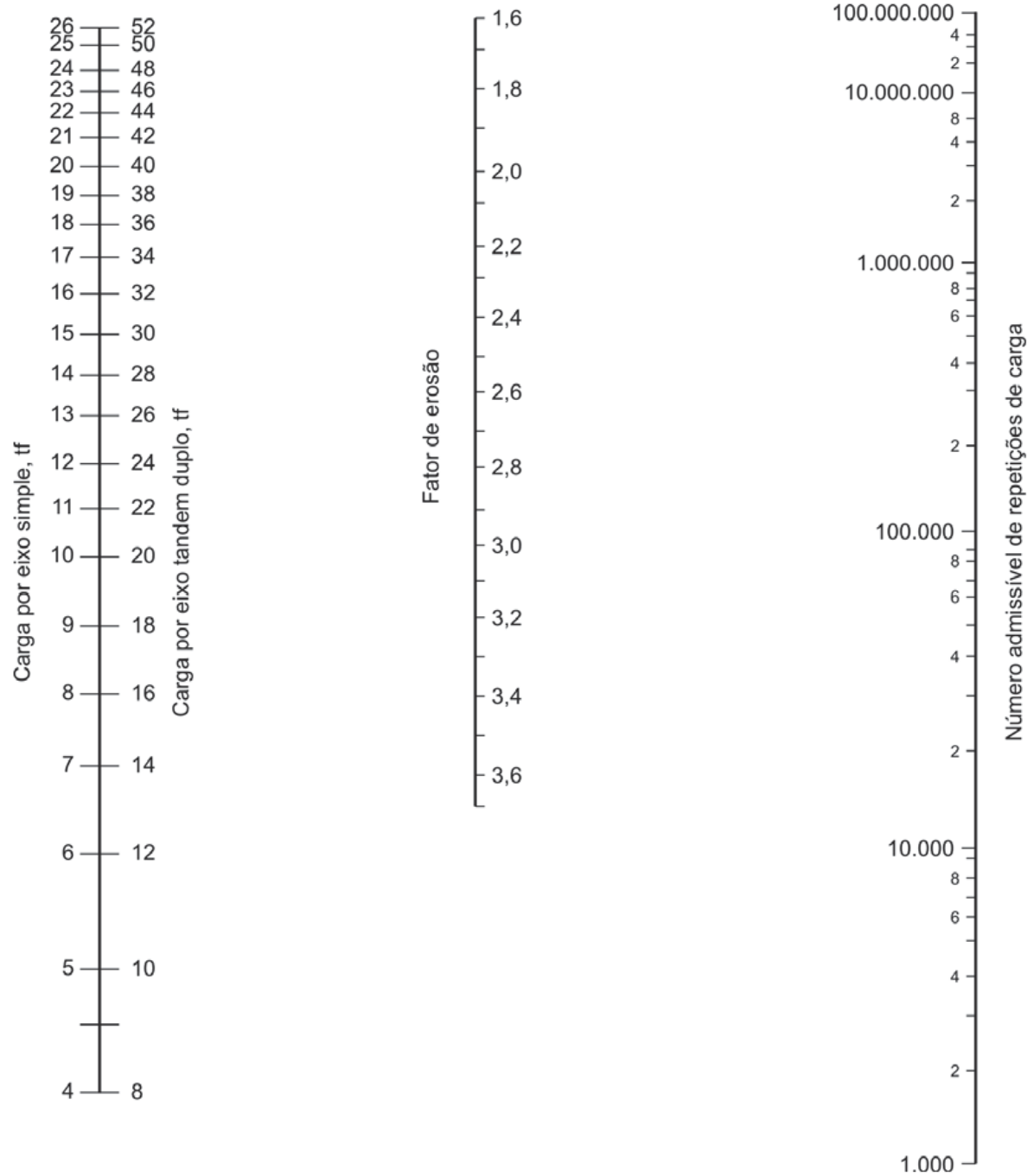
Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 22 - Análise de erosão sem acostamento de concreto.



Fonte: DNIT, 2005.

ANEXO 23 - Análise de erosão com acostamento de concreto.



Fonte: DNIT, 2005.

APÊNDICES



APÊNDICE 1 – Custos e serviços para execução dos pavimentos.

CD.	CÓD. SICRO	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UN.	CUSTO TOT.
1	PAVIMENTO FLEXÍVEL					
1.1	PISTA DE ROLAMENTO					
1.1.1	2 S 02 230 50	Base de brita graduada	m³	1.152,00	113,77	131.057,28
1.1.2	5 S 02 300 00	Imprimação	m²	7.200,00	0,20	1.466,64
1.1.3	5 S 02 400 00	Pintura de ligação	m²	21.600,00	0,14	3.052,08
1.1.4	2 S 02 540 52	Concreto betuminoso usinado a quente - "binder"	t	1.431,36	79,21	113.371,58
1.1.5	2 S 02 540 51	Conc. Betuminoso usinado a quente - capa rolada	t	899,28	81,35	73.153,46
1.1.6	PN 20	Sub-base de macadame seco	m³	1.368,00	102,74	140.546,40
1.2	FORNECIMENTO DE MATERIAL BETUMINOSO					
1.2.1	PN 21	CAP 50/70	t	71,57	1.096,84	78.498,65
1.2.2	PN 22	CAP 55/75 c/ polímeros	t	49,46	1.744,30	86.273,78
1.2.3	PN 23	RR-2C	t	5,76	980,73	5.649,00
1.2.4	PN 24	RR-1C-E c/ polímeros	t	2,88	1.267,00	3.648,96
1.2.5	PN 25	CM-30	t	8,64	1.816,74	15.696,63
1.3	TRANSPORTE DO MATERIAL BETUMINOSO					
1.3.1	PN 26	Transporte de asfalto a quente	t	121,03	65,71	7.952,78
1.3.2	PN 27	Transporte de asfalto a frio	t	17,28	59,22	1.023,32
TOTAL DA ESTRUTURA						661.390,56
2	PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES					
2.1	PISTA DE ROLAMENTO					
2.1.1	2 S 02 603 50	Sub-base de concreto rolado AC/BC	m³	720,00	161,22	116.077,68
2.2.2	2 S 02 606 50	Concr.de cimento portl.com fôrma deslizante AC	m³	2.160,00	274,30	592.492,97
TOTAL DA ESTRUTURA						708.570,65
3	MANUTENÇÃO - PAVIMENTO FLEXÍVEL					
3.1	PISTA DE ROLAMENTO					
2.1.1	5 S 02 990 11	Fresagem Contínua do Pav. (e=5cm)	m³	72,00	98,79	7.112,99
2.2.2	5 S 02 400 00	Pintura de Ligação	m²	1.440,00	0,14	203,47
2.2.3	2 S 02 540 51	CBUQ c/ Polímero (e=5cm)	t	179,86	81,35	14.630,69
3.2	FORNECIMENTO DE MATERIAL BETUMINOSO					
3.2.2	PN 22	CAP 55/75 c/ polímeros	t	9,89	1.744,30	17.254,79
3.2.4	PN 24	RR-1C-E c/ polímeros	t	0,58	1.267,00	729,79
3.3	TRANSPORTE DO MATERIAL BETUMINOSO					
3.3.1	PN 26	Transporte de asfalto a quente	t	9,89	65,71	650,01
3.3.2	PN 27	Transporte de asfalto a frio	t	0,58	59,22	34,11
TOTAL DA ESTRUTURA						40.615,85

Fonte: Elaborado pelo autor.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO								
Serviço:	Base de brita graduada		Código:	2 S 02 230 50		Unidade:	m³	
EQUIPAMENTO			QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
				PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E102	Rolo Compactador : Dynapac : CC-424HF - Tanden vibrat. autoprop. 10,2 t	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04	
E105	Rolo Compactador : Caterpillar : PS-360 C - de pneus autoprop. 25 t	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55	
E109	Distribuidor de Agregados : Romanelli : DAR-5000 - autopropelido	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74	
E404	Caminhão Basculante : Mercedes Benz : 2726 K - 10 m3 - 15 t	3,56	1,00	-	117,56	9,18	418,51	
E407	Caminhão Tanque : Mercedes Benz : 2726 K - 10.000 l	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81	
				-	-	-	-	
				-	-	-	-	
				-	-	-	-	
(A) TOTAL:								789,65
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO	
T511	Encarreg. de pavimentação	1,00	1,00		26,25		26,25	
T701	Servente	1,00	3,00		6,93		20,78	
		-			-		-	
		-			-		-	
		-			-		-	
		-			-		-	
		-			-		-	
Adc.M.O. - Ferramentas:			47,03	15,51%	7,29	(B) TOTAL:		47,03
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		121,00	m³/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):			843,97	
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):								6,98
MATERIAIS		UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO	
1 A 01 395 51	Usinagem de brita graduada BC	m3	94,89		1,00		94,89	
		-	-		-		-	
		-	-		-		-	
		-	-		-		-	
		-	-		-		-	
		-	-		-		-	
		-	-		-		-	
(E) TOTAL:								94,89
TRANSPORTE		DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO	
1 A 01 395 51	Usinagem de brita graduada BC	16,00			0,31	2,40	11,90	
					-	-	-	
					-	-	-	
					-	-	-	
					-	-	-	
					-	-	-	
					-	-	-	
(F) TOTAL:								11,90
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):								113,77
BONIFICAÇÃO:			29,98%					34,11
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:								147,88

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 3 – Composição de Imprimação.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
Serviço:	Imprimação		Código: 5 S 02 300 00		Unidade: m²		
EQUIPAMENTO		QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
			PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E007	Trator Agrícola : Massey Ferguson : MF 4291/4 449A -	1,00	0,37	0,63	56,06	9,84	26,95
E107	Vassoura Mecânica : CMV : VM 2440 - rebocável	1,00	0,37	0,63	4,65	-	1,72
E110	Tanque de Estocagem de Asfalto : Cifali : - 30.000 l	2,00	1,00	-	18,59	-	37,18
E111	Equip. Distribuição de Asfalto : Ferlex : - montado em caminhão	1,00	1,00	-	109,04	9,18	109,04
				-	-	-	-
				-	-	-	-
				-	-	-	-
				-	-	-	-
(A) TOTAL:							174,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
T511	Encarreg. de pavimentação	1,00		1,00		26,25	26,25
T701	Servente	1,00		3,00		6,93	20,78
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
Adc.M.O. - Ferramentas:			47,03	15,51%	7,29	(B) TOTAL: 47,03	
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		1.125,00	m²/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):			229,21
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):							0,20
MATERIAIS		UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
M103	Asfalto diluído CM-30	t		-		0,0012	-
		-		-			-
		-		-			-
		-		-			-
		-		-			-
		-		-			-
		-		-			-
(E) TOTAL:							-
TRANSPORTE		DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
					-		-
					-		-
					-		-
					-		-
					-		-
					-		-
(F) TOTAL:							-
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):							0,20
BONIFICAÇÃO:		29,98%					0,06
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:							0,26

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 4 – Composição de Pintura de ligação.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
Serviço:	Pintura de ligação		Código: 5 S 02 400 00		Unidade: m²		
EQUIPAMENTO		QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
			PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E007	Trator Agrícola : Massey Ferguson : MF 4291/4 449A -	1,00	0,55	0,45	56,06	9,84	35,27
E107	Vassoura Mecânica : CMV : VM 2440 - rebocável	1,00	0,55	0,45	4,65	-	2,56
E110	Tanque de Estocagem de Asfalto : Cifali : - 30.000 l	2,00	1,00	-	18,59	-	37,18
E111	Equip. Distribuição de Asfalto : Ferlex : - montado em caminhão	1,00	1,00	-	109,04	9,18	109,04
			-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-
(A) TOTAL:							184,05
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
T511	Encarreg. de pavimentação	1,00		1,00		26,25	26,25
T701	Servente	1,00		3,00		6,93	20,78
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
Adc.M.O. - Ferramentas:		47,03	15,51%	7,29	(B) TOTAL:		47,03
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		1.687,00	m²/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):		238,37	
D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):							0,14
MATERIAIS		UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	t		-		0,0004	-
		-		-		-	-
		-		-		-	-
		-		-		-	-
		-		-		-	-
		-		-		-	-
		-		-		-	-
(E) TOTAL:							-
TRANSPORTE		DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
					-		-
					-		-
					-		-
					-		-
					-		-
					-		-
(F) TOTAL:							-
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):							0,14
BONIFICAÇÃO:		29,98%					0,04
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:							0,18

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 5 – Composição de Concreto Betuminoso Usinado a Quente “Binder”.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO								
Serviço:	Concreto betuminoso usinado a quente - "binder"		Código:		2 S 02 540 52		Unidade:	t
EQUIPAMENTO			QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
				PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E007	Trator Agrícola : Massey Ferguson : MF 4291/4 449A -		1,00	0,24	0,76	56,06	9,84	20,94
E102	Rolo Compactador : Dynapac : CC-424HF - Tandem vibrat. autoprop. 10,2 t		1,00	0,56	0,44	101,89	9,84	61,39
E105	Rolo Compactador : Caterpillar : PS-360 C - de pneus autoprop. 25 t		1,00	0,58	0,42	105,45	9,84	65,30
E107	Vassoura Mecânica : CMV : VM 2440 - rebocável		1,00	0,24	0,76	4,65	-	1,12
E149	Vibro-acabadora de Asfalto : Terex : TEREX VDA 600 - sobre esteiras		1,00	0,81	0,19	151,07	13,61	124,95
E404	Caminhão Basculante : Mercedes Benz : 2726 K - 10 m3 - 15 t		1,53	1,00	-	117,56	9,18	179,87
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
(A) TOTAL:								453,57
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
T511	Encarreg. de pavimentação		1,00		1,00	26,25		26,25
T701	Servente		1,00		8,00	6,93		55,42
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:			81,67	15,51%	12,67	(B) TOTAL:		81,67
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:			75,00	t/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):			547,91
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):								7,31
MATERIAIS			UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
1 A 01 390 53	Usinagem de CBUQ (binder) AC/BC		t		61,62	1,00		61,62
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
(E) TOTAL:								61,62
TRANSPORTE			DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
1 A 00 716 00	Areia comercial				21,00	0,31	0,242	1,58
1 A 00 717 00	Brita Comercial				17,00	0,31	0,710	3,74
1 A 01 390 53	Usinagem de CBUQ (binder) AC/BC				16,00	0,31	1,000	4,96
						-		-
						-		-
						-		-
						-		-
						-		-
(F) TOTAL:								10,28
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):								79,21
BONIFICAÇÃO:			29,98%					23,75
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:								102,96

Fonte: Elaborado pelo autor.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
Serviço:	Conc. Betuminoso usado a quente - capa rolamento	Código:	2 S 02 540 51		Unidade:	t	
EQUIPAMENTO		QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
			PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E007	Trator Agrícola : Massey Ferguson : MF 4291/4 449A -	1,00	0,24	0,76	56,06	9,84	20,94
E102	Rolo Compactador : Dynapac : CC-424HF - Tanden vibrat. autoprop. 10,2 t	1,00	0,56	0,44	101,89	9,84	61,39
E105	Rolo Compactador : Caterpillar : PS-360 C - de pneus autoprop. 25 t	2,00	0,29	0,71	105,45	9,84	75,14
E107	Vassoura Mecânica : CMV : VM 2440 - rebocável	1,00	0,24	0,76	4,65	-	1,12
E149	Vibro-acabadora de Asfalto : Terex : TEREX VDA 600 - sobre esteiras	1,00	0,81	0,19	151,07	13,61	124,95
E404	Caminhão Basculante : Mercedes Benz : 2726 K - 10 m³ - 15 t	1,53	1,00	-	117,56	9,18	179,87
			-	-	-	-	-
(A) TOTAL:							463,41
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
T511	Encarreg. de pavimentação	1,00		1,00		26,25	26,25
T701	Servente	1,00		8,00		6,93	55,42
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
		-				-	-
Adc.M.O. - Ferramentas:		81,67	15,51%	12,67	(B) TOTAL:		81,67
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		75,00	t/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):			557,75
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) - (D):							7,44
MATERIAIS		UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
1 A 01 390 52	Usinagem de CBUQ (capa de rolamento) AC/BC	t		63,63		1,00	63,63
		-		-		-	-
		-		-		-	-
		-		-		-	-
		-		-		-	-
		-		-		-	-
(E) TOTAL:							63,63
TRANSPORTE		DMT (T)		CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO	
1 A 01 390 52	Usinagem de CBUQ (capa de rolamento) AC/BC			16,00	0,31	1,000	4,96
M905	Filler			86,00	0,16	0,028	0,39
1 A 00 716 00	Areia comercial			21,00	0,31	0,080	0,52
1 A 00 717 00	Brita Comercial			17,00	0,31	0,837	4,41
				-	-	-	-
				-	-	-	-
				-	-	-	-
(F) TOTAL:							10,28
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):							81,35
BONIFICAÇÃO:							24,39
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:							105,74

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 7 – Composição de Sub-Base de Macadame Seco.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO								
Serviço:	Sub-base de macadame seco		Código:		PN 20		Unidade:	m³
EQUIPAMENTO			QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
				PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E102	Rolo Compactador : Dynapac : CC-424HF - Tanden vibrat. autoprop. 10,2 t		1,00	0,82	0,18	101,89	9,84	85,33
E105	Rolo Compactador : Caterpillar : PS-360 C - de pneus autoprop. 25 t		1,00	0,79	0,21	105,45	9,84	85,37
E109	Distribuidor de Agregados : Romanelli : DAR-5000 - autopropelido		1,00	1,00	-	141,85	13,61	141,85
E404	Caminhão Basculante : Mercedes Benz : 2726 K - 10 m3 - 15 t		3,68	1,00	-	117,56	9,18	432,62
				-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-
(A) TOTAL:								745,17
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
T511	Encarreg. de pavimentação		1,00	1,00		26,25		26,25
T701	Servente		1,00	3,00		6,93		20,78
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:			47,03	15,51%	7,29	(B) TOTAL:		47,03
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:			136,00	m³/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):		799,49	
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) - (D):								5,88
MATERIAIS			UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
1 A 00 717 00	Brita Comercial		m3	57,13		1,50		85,70
			-	-				-
			-	-				-
			-	-				-
			-	-				-
			-	-				-
			-	-				-
			-	-				-
(E) TOTAL:								85,70
TRANSPORTE			DMT (T)		CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO	
1 A 00 717 00	Brita Comercial		16,00		0,31	2,25	11,16	
					-		-	
					-		-	
					-		-	
					-		-	
					-		-	
					-		-	
(F) TOTAL:								11,16
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):								102,74
BONIFICAÇÃO:			29,98%					30,80
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:								133,54

Fonte: Elaborado pelo autor.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO						
Serviço: CAP 50/70		Código: PN 21		Unidade: t		
EQUIPAMENTO	QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
		PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
(A) TOTAL:						-
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR	K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:						-
-		15,51%		-		(B) TOTAL: -
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		1,00	t/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):		-
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):						-
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
M101 Cimento asfáltico CAP 50/70	t	1.096,84		1,000		1.096,84
	-					-
	-					-
	-					-
	-					-
	-					-
	-					-
(E) TOTAL:						1.096,84
TRANSPORTE	DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
(F) TOTAL:						-
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):						1.096,84
BONIFICAÇÃO:						15,00% 164,53
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:						1.261,37

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 9 – Composição de Cap 55/75 com polímeros.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO						
Serviço: CAP 55/75 c/ polímeros		Código: PN 22		Unidade: t		
EQUIPAMENTO	QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
		PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
(A) TOTAL:						-
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR	K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:						-
		-	15,51%	-	(B) TOTAL:	
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		1,00	t/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):		-
D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):						-
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
M101 Cimento asfáltico CAP 55/75 Polímero	t	1.744,30		1,000		1.744,30
	-	-		-		-
	-	-		-		-
	-	-		-		-
	-	-		-		-
	-	-		-		-
	-	-		-		-
(E) TOTAL:						1.744,30
TRANSPORTE	DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
(F) TOTAL:						-
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):						1.744,30
BONIFICAÇÃO:		15,00%				261,65
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:						2.005,95

Fonte: Elaborado pelo autor.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO						
Serviço: RR-2C		Código: PN 23		Unidade: t		
EQUIPAMENTO	QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
		PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
(A) TOTAL:						-
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR	K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:						-
-		15,51%		-		(B) TOTAL: -
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		1,00	t/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):		-
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):						-
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
M105 Emulsão asfáltica RR-2C	t	980,73		1,0000		980,73
	-					-
	-					-
	-					-
	-					-
	-					-
	-					-
(E) TOTAL:						980,73
TRANSPORTE	DMT (T)		CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO	
			-		-	
			-		-	
			-		-	
			-		-	
			-		-	
			-		-	
(F) TOTAL:						-
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):						980,73
BONIFICAÇÃO:						15,00%
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:						1.127,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 11 – Composição de RR-1C-E com polímeros.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO						
Serviço: RR-1C-E c/ polímeros		Código: PN 24		Unidade: t		
EQUIPAMENTO	QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
		PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
(A) TOTAL:						-
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR	K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:						-
- 15,51%		-		(B) TOTAL:		-
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		1,00	t/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):		-
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):						-
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
M104 Emulsão asfáltica RR-1C-E	t	1.267,00		1,00		1.267,00
	-	-		-		-
	-	-		-		-
	-	-		-		-
	-	-		-		-
	-	-		-		-
	-	-		-		-
(E) TOTAL:						1.267,00
TRANSPORTE	DMT (T)		CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO	
			-		-	
			-		-	
			-		-	
			-		-	
			-		-	
			-		-	
(F) TOTAL:						-
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):						1.267,00
BONIFICAÇÃO:						15,00%
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:						1.457,05

Fonte: Elaborado pelo autor.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO						
Serviço: CM-30		Código: PN 25			Unidade: t	
EQUIPAMENTO	QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
		PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
(A) TOTAL:						-
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR	K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:						-
-		15,51%		-		(B) TOTAL: -
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		1,00	t/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):		-
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):						-
MATERIAIS		UNIDADE	CUSTO		CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
M103	Asfalto diluido CM-30	t	1.816,74		1,00	1.816,74
		-	-			-
		-	-			-
		-	-			-
		-	-			-
		-	-			-
		-	-			-
(E) TOTAL:						1.816,74
TRANSPORTE		DMT (T)		CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
(F) TOTAL:						-
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):						1.816,74
BONIFICAÇÃO:		15,00%				272,51
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:						2.089,25

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 13 – Composição de Transporte de Asfalto a Quente.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO								
Serviço:	Transporte de asfalto a quente		Código:		PN 26	Unidade:	t	
EQUIPAMENTO			QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
				PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-
					-	-	-	-</

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 14 – Composição de Transporte de Asfalto a Frio.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO						
Serviço: Transporte de asfalto a frio		Código: PN 27			Unidade: t	
EQUIPAMENTO	QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
		PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
			-	-	-	-
(A) TOTAL:						-
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR	K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
	-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:						-
-		15,51%		-		(B) TOTAL: -
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		1,00	t/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):		-
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):						-
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
	-	-				-
	-	-				-
	-	-				-
	-	-				-
	-	-				-
	-	-				-
	-	-				-
(E) TOTAL:						-
TRANSPORTE	DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
1 A 00 112 91 Transporte comercial material betuminoso a frio	1,00			59,22	1,00	59,22
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
				-		-
(F) TOTAL:						59,22
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):						59,22
BONIFICAÇÃO:						8,88
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:						68,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 15 – Composição de Sub-Base de concreto Rolado AC/BC.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO								
Serviço:	Sub-base de concreto rolado AC/BC		Código: 2 S 02 603 50		Unidade: m³			
EQUIPAMENTO			QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
				PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E102	Rolo Compactador : Dynapac : CC-424HF - Tanden vibrat. autoprop. 10,2 t		1,00	0,78	0,22	101,89	9,84	81,64
E105	Rolo Compactador : Caterpillar : PS-360 C - de pneus autoprop. 25 t		1,00	0,69	0,31	105,45	9,84	75,81
E160	Fresadora e Distribuidora de solo : Gomaco : 9500 - para regular sub leito		1,00	0,35	0,65	340,29	13,61	127,95
E404	Caminhão Basculante : Mercedes Benz : 2726 K - 10 m3 - 15 t		1,97	1,00	-	117,56	9,18	231,59
E407	Caminhão Tanque : Mercedes Benz : 2726 K - 10.000 l		1,00	0,83	0,17	117,23	9,18	98,86
				-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-
(A) TOTAL:								615,85
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
T511	Encarreg. de pavimentação		1,00		1,00	26,25		26,25
T701	Servente		1,00		6,00	6,93		41,57
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
			-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:			67,82	15,51%	10,52	(B) TOTAL:		67,82
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:			149,00	m³/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):			694,19
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):								4,66
MATERIAIS			UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
1 A 01 653 50	Usinagem p/ sub-base de concreto rolado AC/BC		m3		129,82	1,00		129,82
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
			-		-			-
(E) TOTAL:								129,82
TRANSPORTE			DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
1 A 01 653 50	Usinagem p/ sub-base de concreto rolado AC/BC		16,00			0,31	2,40	11,90
1 A 00 717 00	Brita Comercial		21,00			0,31	2,28	14,84
						-	-	-
						-	-	-
						-	-	-
						-	-	-
						-	-	-
(F) TOTAL:								26,74
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):								161,22
BONIFICAÇÃO:								48,33
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:								209,55

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 16 – Composição Concreto de Cimento Portland com Fôrma Deslizante AC/BC.

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
Serviço:	Concr.de cimento portl.com fôrma deslizante AC/BC			Código: 2 S 02 606 50		Unidade:	m³
EQUIPAMENTO		QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
			PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E330	Espalhadora de concreto : Gomaco : PS 2600 -	1,00	0,58	0,42	271,27	13,61	163,05
E331	Acabadora de concreto : Gomaco : GP-2600 - com forma deslizante	1,00	0,58	0,42	382,27	13,61	227,43
E332	Texturizadora e Lançadora : Gomaco : TC 400 - sem estação meteorológica	1,00	0,21	0,79	103,37	9,84	29,48
E333	Serra de Disco Diamantado : Norton : C13-E - para concreto	2,00	0,72	0,28	24,71	8,93	40,58
E404	Caminhão Basculante : Mercedes Benz : 2726 K - 10 m3 - 15 t	2,71	1,00	-	117,56	9,18	318,58
E422	Caminhão Tanque : Mercedes Benz : L1620/51 - 8.000 l	1,00	0,50	0,50	82,71	9,18	45,94
			-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-
(A) TOTAL:							825,06
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
T511	Encarreg. de pavimentação	1,00	1,00		26,25		26,25
T604	Pedreiro	1,00	4,00		9,66		38,65
T701	Servente	1,00	14,00		6,93		96,99
		-			-		-
		-			-		-
		-			-		-
		-			-		-
		-			-		-
		-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:		161,89	15,51%	25,11	(B) TOTAL:		161,89
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		149,00	m³/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):			1.012,06
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):							6,79
MATERIAIS		UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
M620	Protetor de cura do concreto	kg	3,63		0,7500		2,72
M949	Disco diam. serra asfalto SD8-034	un	17,56		0,0010		0,02
1 A 01 580 03	Fornecimento, preparo e colocação formas aço CA 25	kg	6,38		1,0000		6,38
1 A 01 656 51	Usinagem de conc. c/ cim. port.p/ pav.rígido AC/BC	m3	232,63		1,0000		232,63
1 A 02 702 00	Limpeza e enchim. junta pav. concr.(const e rest)	m	2,52		0,8300		2,09
		-	-		-		-
		-	-		-		-
		-	-		-		-
(E) TOTAL:							243,84
TRANSPORTE		DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
1 A 01 656 50	Usinagem p/ conc.cim.portl.c/ forma desliz AC/BC	16,00			0,31	2,400	11,90
1 A 00 716 00	Areia comercial	21,00			0,31	0,905	5,89
1 A 00 717 00	Brita Comercial	17,00			0,31	1,116	5,88
					-	-	-
					-	-	-
					-	-	-
					-	-	-
					-	-	-
(F) TOTAL:							23,67
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):							274,30
BONIFICAÇÃO:		29,98%					82,24
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:							356,54

Fonte: Elaborado pelo autor.

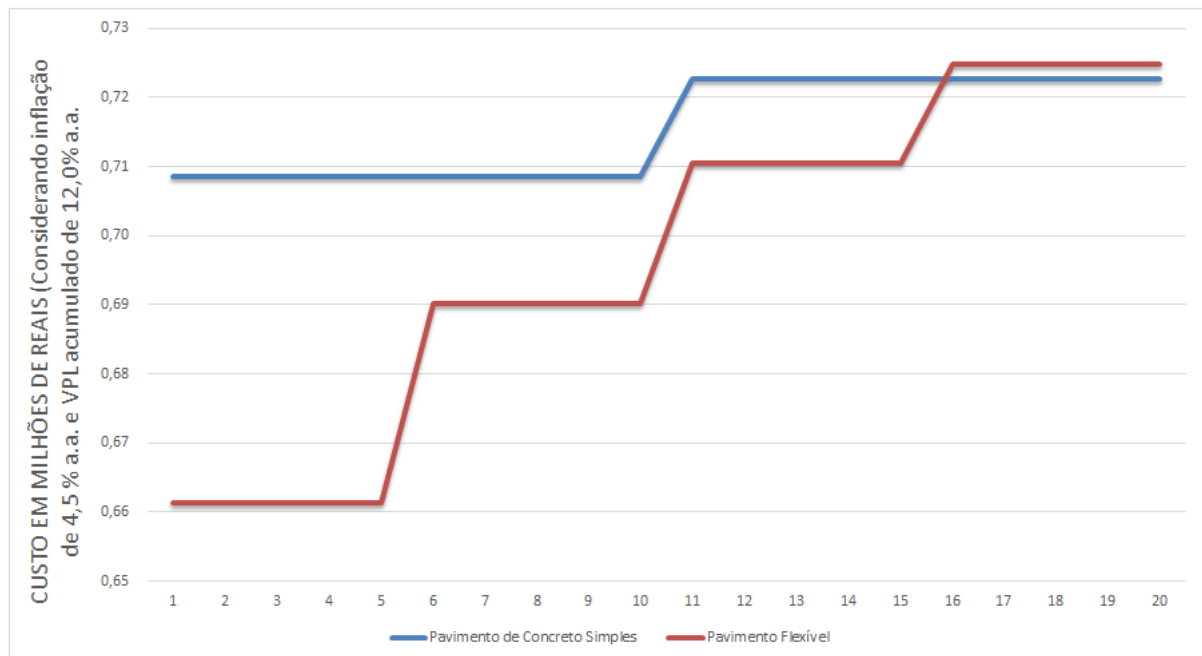
APÊNDICE 17 – Composição de Fresagem Descontínua do Pavimento (e=5cm).

COMPOSIÇÃO DE PREÇO UNITÁRIO							
Serviço: Fresagem Descontínua do Pav. (e=5cm)			Código: 5 S 02 990 11			Unidade: m³	
EQUIPAMENTO		QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERAC.		CUSTO HORÁRIO
			PROD.	IMPROD.	PROD.	IMPROD.	
E127	Fresadora a Frio : Wirtgen : W 200 -	1,00	1,00	-	872,95	13,61	872,95
E156	Carregadeira de Pneus : Case : SR 175 - c/ vassoura SPS 155 DA AGF	1,00	0,50	0,50	84,29	13,61	48,95
E404	Caminhão Basculante : Mercedes Benz : 2726 K - 10 m3 - 15 t	1,08	1,00	-	117,56	9,18	126,96
E406	Caminhão Tanque : Mercedes Benz : ATEGO 1418/42 - 6.000 l	1,00	0,24	0,76	83,73	9,18	27,07
			-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-
(A) TOTAL:							1.075,93
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		K ou R	QUANT.		SALÁRIO BASE		CUSTO HORÁRIO
T501	Encarregado de turma	1,00	1,00		16,35		16,35
T701	Servente	1,00	8,00		6,93		55,42
		-			-		-
		-			-		-
		-			-		-
		-			-		-
		-			-		-
		-			-		-
Adc.M.O. - Ferramentas:			71,77	15,51%	11,13	(B) TOTAL: 71,77	
(C) PRODUÇÃO DA EQUIPE:		20,00	m³/h	CUSTO HORÁRIO (A+B):			1.158,83
(D) CUSTO UNITÁRIO DA EXECUÇÃO [(A) + (B)] / (C) = (D):							57,94
MATERIAIS		UNIDADE	CUSTO		CONSUMO		CUSTO UNITÁRIO
M349	Dente p/ fresadora W-1900	un	21,47		0,8800		18,89
M350	Porta dente p/ fresadora W-1900	un	210,30		0,0515		10,83
M378	Apoio do porta dente frezad. W 200	un	872,02		0,0085		7,41
		-	-		-		-
		-	-		-		-
		-	-		-		-
		-	-		-		-
		-	-		-		-
(E) TOTAL:							37,13
TRANSPORTE		DMT (T)			CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
M997	Transporte de material fresado	5,00			0,31	2,40	3,72
					-	-	-
					-	-	-
					-	-	-
					-	-	-
					-	-	-
(F) TOTAL:							3,72
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (D) + (E) + (F):							98,79
BONIFICAÇÃO:							29,62
PREÇO UNITÁRIO TOTAL:							128,41

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 18 – Comparação considerando o cenário otimista para os pavimentos.

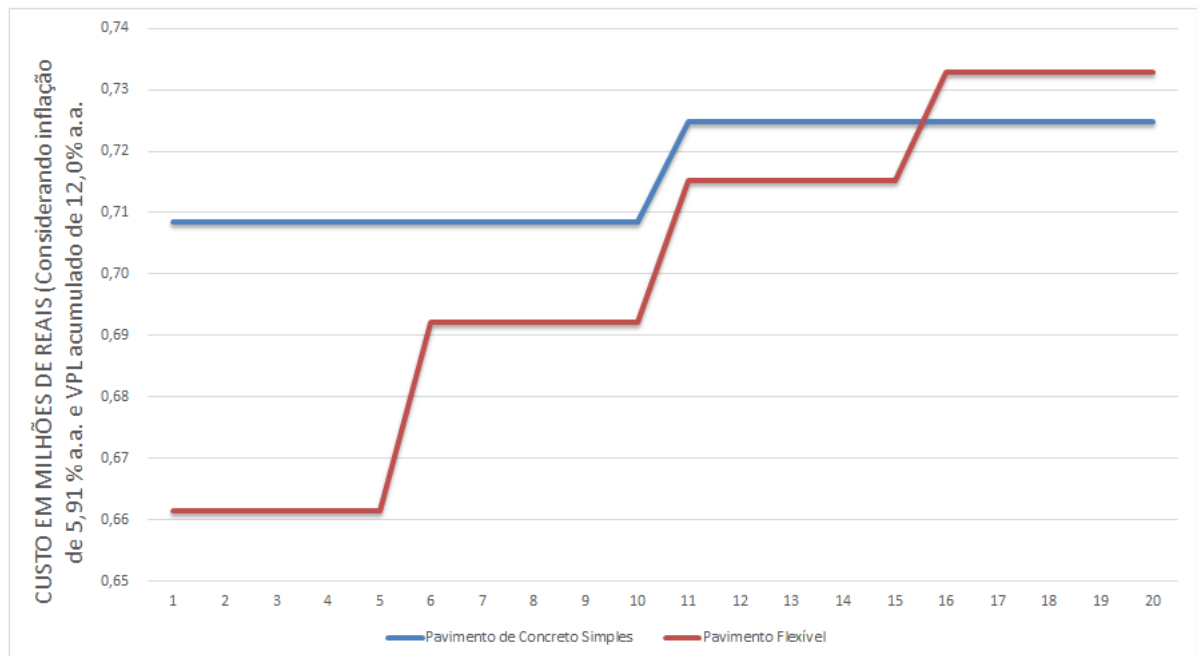
DADOS				
Custo de manutenção do pavimento flexível a cada 5 anos			40.615,85	
Custo de manutenção do pavimento de concreto simples a cada 10 anos			28.342,83	
Taxa de remuneração a.a.			12,0%	
Inflação a.a.			4,5%	
CUSTO DOS PAVIMENTOS AO LONGO DO TEMPO				
Anos	PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES		PAVIMENTO FLEXÍVEL	
	Construção	Manutenção	Construção	Manutenção
INICAL	708.570,65	-	661.390,56	-
1	708.570,65	-	661.390,56	-
2	708.570,65	-	661.390,56	-
3	708.570,65	-	661.390,56	-
4	708.570,65	-	661.390,56	-
5	708.570,65	-	661.390,56	28.720,16
6	708.570,65	-	690.110,73	-
7	708.570,65	-	690.110,73	-
8	708.570,65	-	690.110,73	-
9	708.570,65	-	690.110,73	-
10	708.570,65	14.171,83	690.110,73	20.308,52
11	722.742,47	-	710.419,25	-
12	722.742,47	-	710.419,25	-
13	722.742,47	-	710.419,25	-
14	722.742,47	-	710.419,25	-
15	722.742,47	-	710.419,25	14.360,50
16	722.742,47	-	724.779,75	-
17	722.742,47	-	724.779,75	-
18	722.742,47	-	724.779,75	-
19	722.742,47	-	724.779,75	-
20	722.742,47	-	724.779,75	-
TOTAL	722.742,47	-	724.779,75	-
		14.171,83	63.389,18	



Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 19 – Comparação considerando o cenário moderado para os pavimentos.

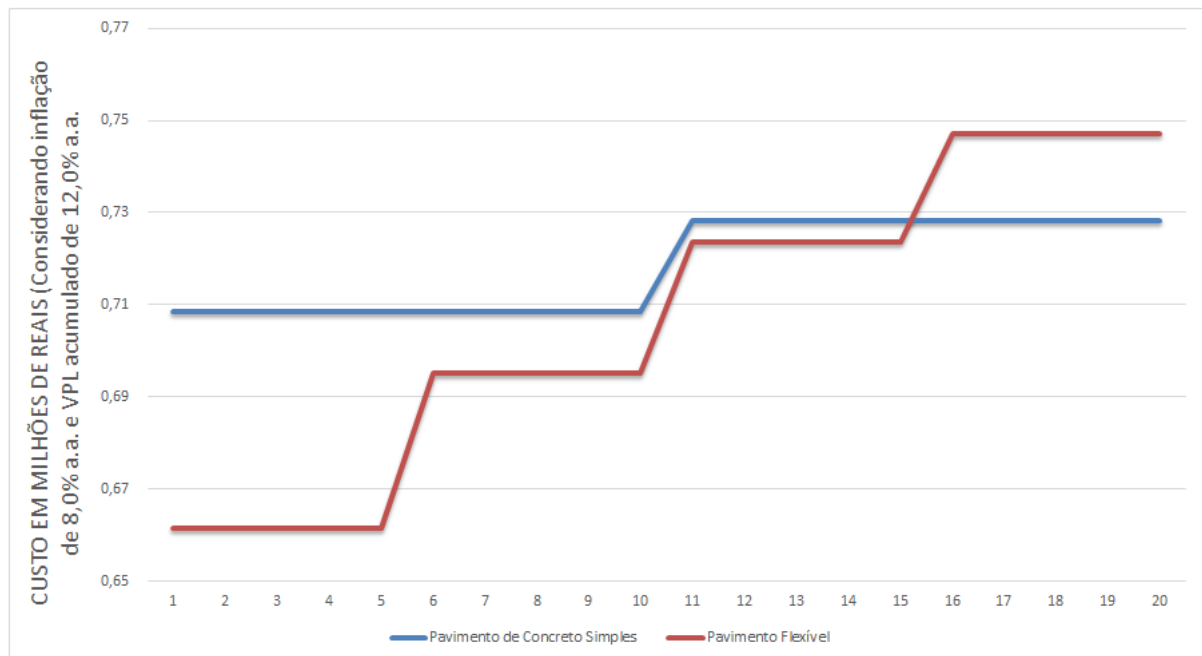
DADOS				
Custo de manutenção do pavimento flexível a cada 5 anos			40.615,85	
Custo de manutenção do pavimento de concreto simples a cada 10 anos			28.342,83	
Taxa de remuneração a.a.			12,0%	
Inflação a.a.			5,910%	
CUSTO DOS PAVIMENTOS AO LONGO DO TEMPO				
Anos	PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES		PAVIMENTO FLEXÍVEL	
	Construção	Manutenção	Construção	Manutenção
INICAL	708.570,65	-	661.390,56	-
1	708.570,65	-	661.390,56	-
2	708.570,65	-	661.390,56	-
3	708.570,65	-	661.390,56	-
4	708.570,65	-	661.390,56	-
5	708.570,65	-	661.390,56	30.710,74
6	708.570,65	-	692.101,30	-
7	708.570,65	-	692.101,30	-
8	708.570,65	-	692.101,30	-
9	708.570,65	-	692.101,30	-
10	708.570,65	16.204,39	692.101,30	23.221,22
11	724.775,03	-	715.322,52	-
12	724.775,03	-	715.322,52	-
13	724.775,03	-	715.322,52	-
14	724.775,03	-	715.322,52	-
15	724.775,03	-	715.322,52	17.558,19
16	724.775,03	-	732.880,71	-
17	724.775,03	-	732.880,71	-
18	724.775,03	-	732.880,71	-
19	724.775,03	-	732.880,71	-
20	724.775,03	-	732.880,71	-
TOTAL	724.775,03	-	732.880,71	-
		16.204,39	71.490,15	



Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE 20 – Comparação considerando o cenário pessimista para os pavimentos.

DADOS				
Custo de manutenção do pavimento flexível a cada 5 anos			40.615,85	
Custo de manutenção do pavimento de concreto simples a cada 10 anos			28.342,83	
Taxa de remuneração a.a.			12,0%	
Inflação a.a.			8,0%	
CUSTO DOS PAVIMENTOS AO LONGO DO TEMPO				
Anos	PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES		PAVIMENTO FLEXÍVEL	
	Construção	Manutenção	Construção	Manutenção
INICAL	708.570,65	-	661.390,56	-
1	708.570,65	-	661.390,56	-
2	708.570,65	-	661.390,56	-
3	708.570,65	-	661.390,56	-
4	708.570,65	-	661.390,56	-
5	708.570,65	-	661.390,56	33.862,91
6	708.570,65	-	695.253,47	-
7	708.570,65	-	695.253,47	-
8	708.570,65	-	695.253,47	-
9	708.570,65	-	695.253,47	-
10	708.570,65	19.701,55	695.253,47	28.232,73
11	728.272,20	-	723.486,20	-
12	728.272,20	-	723.486,20	-
13	728.272,20	-	723.486,20	-
14	728.272,20	-	723.486,20	-
15	728.272,20	-	723.486,20	23.538,65
16	728.272,20	-	747.024,85	-
17	728.272,20	-	747.024,85	-
18	728.272,20	-	747.024,85	-
19	728.272,20	-	747.024,85	-
20	728.272,20	-	747.024,85	-
TOTAL	728.272,20	-	747.024,85	-
		19.701,55	85.634,29	



Fonte: Elaborado pelo autor.