



EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE



André Augusto Nóbrega Dantas
Anna Danielle Gadelha Spíndola da Silva
Laís da Costa Brandão
Anna Luiza Nobre Bezerra
João Victor de Sousa
Pedro Filipe de Luna Cunha
Luis Eduardo Correia Andre
Alecio Junior Mattana

ANÁLISE COMPARATIVA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEL E RÍGIDO: ESTUDO DE CASO NA RECONSTRUÇÃO DA GO-210, RIO VERDE-GO

André Augusto Nóbrega Dantas
Anna Danielle Gadelha Spindola da Silva
Laís da Costa Brandão
Anna Luiza Nobre Bezerra
João Victor de Sousa
Pedro Filipe de Luna Cunha
Luis Eduardo Correira Andre
Alecio Junior Mattana

Análise comparativa de pavimentos flexível e rígido: estudo de caso na reconstrução da GO-210, Rio Verde-GO

1ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

1ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Dantas, André Augusto Nóbrega
D145A Análise comparativa de pavimentos flexível e rígido: estudo de caso na reconstrução da
GO-210, Rio Verde-GO

/ André Augusto Nóbrega Dantas. Anna Danielle Gadelha Spindola da Silva. Laís da Costa
Brandão. Anna Luiza Nobre Bezerra. João Victor de Sousa. Pedro Filipe de Luna Cunha. Luis
Eduardo Correia Andre. Alecio Junior Mattana. – Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre, 2025

104 f.: il

DOI: 10.37423/2025.edcl1160

ISBN: 978-65-5367-684-8

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. pavimento-rígido 2. pavimento-flexível 3. análise-comparativa-de-pavimentos I. Dantas, André
Augusto Nóbrega II. Silva, Anna Danielle Gadelha Spindola da III. Brandão, Laís da Costa IV.
Bezerra, Anna Luiza Nobre V. Sousa, João Victor de VI. Cunha, Pedro Filipe de Luna VII. Andre,
Luis Eduardo Correia VIII. Junior Mattana, Alecio IX. Título

CDU: 625

<https://doi.org/10.37423/2025.edcl1160>

**O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus
respectivos autores.**

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

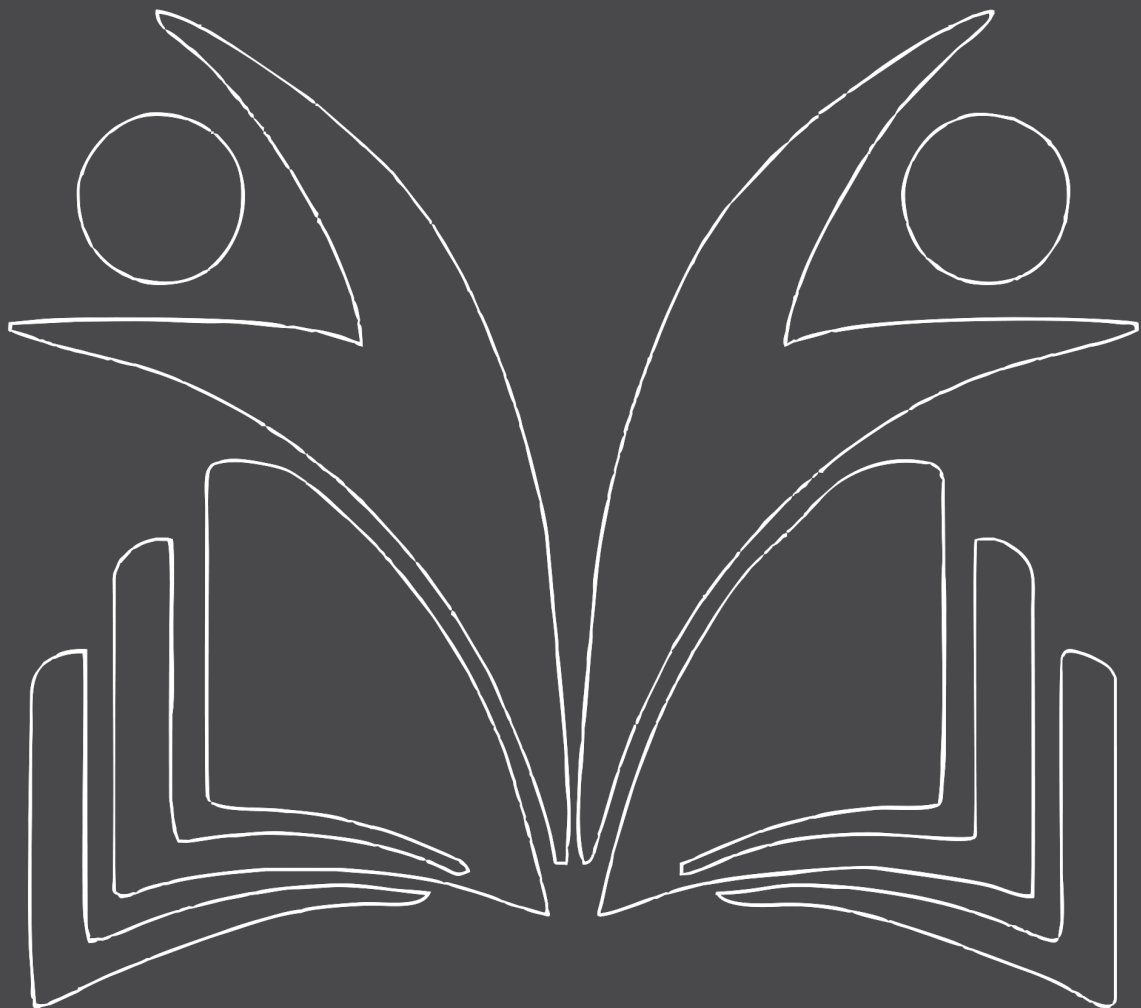
Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos



10.37423/2025.edcl1160



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado a oportunidade de fazer essa faculdade e de ter chegado até aqui, foi Ele que me deu forças.

Agradeço aos meus pais, Celmo e Raquel, por eles terem me dado todo o apoio e terem feito tanto por mim.

Agradeço minha irmã, Martha Valéria, que sempre me consolou nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu querido marido, Rennan, que me acompanha a muitos anos e sempre esteve junto comigo, me dando força pra continuar, não me permitindo desistir e sempre me ajudando na medida que ele conseguia.

Agradeço ao meu irmão, Abner, por ajudar em algumas matérias com aulas particulares.

Agradeço a minha amiga, Victoria, que sempre que pôde também me ajudou muito em todos os sentidos, e foi companheira de trajetória na Engenharia.

Agradeço a minha amiga Denyze, nos últimos anos de faculdade fui presenteada com a aproximação da sua amizade e também com uma companhia para os dias de aula.

Agradeço a minha filha, Ester, que também foi um grande presente que recebi durante a graduação e me deu muita força para prosseguir.

Agradeço a todos os professores, principalmente meu orientador, pelo auxílio e direcionamento.

Agradeço também aos meus outros amigos, Geovanna, Felipe e Nathan que desde o início também estivemos compartilhando alegrias e choros.

Resumo: O Brasil possui uma malha rodoviária com extensão de mais de 1,7 milhões de quilômetros de rodovias que estão distribuídas em rodovias federais, estaduais e municipais. No Brasil, os tipos de pavimento dividem-se principalmente entre rígido e flexível, que diferem quanto aos materiais utilizados, camadas de base, tipo de custo, dimensionamento e eficiência para os diferentes tipos de tráfego. Determinar em quais situações deve-se optar por cada tipo de pavimento influencia diretamente no custo de realização e de manutenção da via e também, na sua viabilidade. Este trabalho se propôs a realizar uma análise comparativa sobre estes dois tipos de pavimento: o pavimento flexível e o pavimento rígido, onde foram mostradas as suas principais diferenças geotécnicas, com foco em um estudo de caso de reconstrução e duplicação de parte da GO-210, em Rio Verde. Onde chegou a conclusão que a longo prazo, a escolha do Pavimento Rígido é a escolha mais viável por ter um melhor custo benefício em vários aspectos já mencionados.

Palavras-chave: pavimento rígido; pavimento flexível; análise comparativa de pavimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema Estrutural das Estradas de Roma

Figura 2: Representação dos Sistemas arterial, coletor e local

Figura 3: Estrutura do Pavimento

Figura 4: Estrutura Pavimento Rígido

Figura 5: Ilustração Pavimento Concreto Simples (PCS)

Figura 6: Ilustração Pavimento Concreto Armado (PCS)

Figura 7: Ilustração Pavimento Concreto Compactado a Rolo (CCR)

Figura 8: Ilustração do Pavimento de Concreto Protendido (PCPRO)

Figura 9: Ilustração do Pavimento Concreto Pré-Moldado (PCPM)

Figura 10: Aplicação de Whitetopping

Figura 11: Exemplo de Pavimentação com Bloquete Intertravado

Figura 12: Camadas do pavimento flexível

Figura 13: Detalhe da superfície de um pavimento com SMA

Figura 14: Esquema de tratamento superficial

Figura 15: Classificações, Configurações e cargas dos eixos

Figura 16: Eixo Padrão Rodoviário

Figura 17: Fatores de Equivalência de Operação

Figura 18: Estrutura das Camadas Pavimento Flexível

Figura 19: Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso

Figura 20: Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Coeficiente de Recalque (k) do subleito

Figura 21: Ábaco de espessura das camadas

Figura 22: Resultado do dimensionamento do pavimento Flexível

Figura 23: Localização Rio Verde 7

Figura 24: Número de Expositores por Ano

Figura 25: Número de Visitantes por Ano

Figura 26: TECNOSHOW COMIGO 2019

Figura 27: Trecho de 6,5km que será duplicado

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso

Tabela 2: Valores coeficiente K

Tabela 3: Coeficientes de recalque x Tipo de Solo

Tabela 4: Fatores de segurança de carga

Tabela 5: Cálculo da Espessura de Pavimento de Concreto

Tabela 6: Quantitativo de serviços de execução do pavimento flexível

Tabela 7: Quantitativo de serviços de execução da reabilitação do pavimento flexível

Tabela 8: Quantitativo de serviços de execução do pavimento rígido

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas

Quadro 2: Tipos de Revestimentos Asfálticos

Quadro 3: Comparação entre misturas a quente e a frio

Quadro 4: Pesquisas Similares Nacionais

Quadro 5: Pesquisas Similares Internacionais

Quadro 5: Defeitos superficiais e de deformação em perfil Pavimento Flexível

Quadro 6: Defeitos mais comuns em Pavimento Rígido

Quadro 7: Atividades de Manutenção do Pavimento Flexível

Quadro 8: Informações para dimensionamento do Pavimento Flexível

Quadro 9: CBR de cada camada

Quadro 10: Principais Características dos Tipos de Pavimentos Comparados

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Classificação do Estado Geral das rodovias

Gráfico 2: Comparativo de Custos

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 JUSTIFICATIVA.....	15
3 OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4 METODOLOGIA	16
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
5.1 HISTÓRIA DAS VIAS E DA PAVIMENTAÇÃO.....	17
5.2 ESTRADA E RODOVIAS	20
5.3 PAVIMENTO	21
5.3.1 DEFINIÇÃO	21
5.3.2 CAMADAS DO PAVIMENTO	22
5.3.2.1 SUBLEITO	22
5.3.2.2 REFORÇO DO SUBLEITO.....	22
5.3.2.3 SUB-BASE	23
5.3.2.4 BASE.....	23
5.3.2.5 REVESTIMENTO	23
5.4 PAVIMENTO RÍGIDO	24
5.4.1 MATERIAIS CONSTITUINTES DO PAVIMENTO RÍGIDO	25
5.4.1.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	25
5.4.1.2 CONTROLE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	26
5.4.1.3 CIMENTO PORTLAND	26
5.5 TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	26
5.5.1 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES (PCS)	26
5.4.1 MATERIAIS CONSTITUINTES DO PAVIMENTO RÍGIDO	27
5.4.1.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	27
5.4.1.2 CONTROLE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO	27
5.4.1.3 CIMENTO PORTLAND	27

5.5 TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	28
5.5.1 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES (PCS)	28
5.5.2 PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO (PCA)	28
5.5.3 PAVIMENTO DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO (CCR)	29
5.5.4 PAVIMENTO DE CONCRETO PROTENDIDO (PCPRO)	30
5.5.5 PAVIMENTO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO (PCPM)	30
5.5.6 WHITETOPPING (WT)	31
5.5.7 WHITETOPPING ULTRA DELGADO (WTUD)	32
5.5.8 BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO	32
5.6 PAVIMENTO FLEXÍVEL	32
5.6.1 TIPOS DE ASFALTO	34
5.6.1.1 CONCRETO ASFÁLTICO	34
5.6.1.2 CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A FRIO	34
5.6.1.3 LAMA ASFÁLTICA	35
5.6.1.4 MICRO REVESTIMENTO ASFÁLTICO	35
5.6.2 MISTURAS QUENTES	35
5.6.2.1 CONCRETO ASFÁLTICO DENSO	35
5.6.2.2 CAMADA POROSA DE ATRITO	36
5.6.2.3 MATRIZ PÉTREIA ASFÁLTICA OU <i>STONE MATRIX ASPHALT</i>	36
5.6.2.4 AREIA ASFALTO USINADA A QUENTE (AAUQ)	37
5.6.3 MISTURAS FRIAS	37
5.6.4 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	38
6 PESQUISAS SIMILARES	39
6.1 PESQUISAS NACIONAIS	39
6.2 PESQUISAS INTERNACIONAIS	40
7 SOLICITAÇÕES AO PAVIMENTO PELA CARGA RODOVIÁRIA	41
7.1 CONFIGURAÇÕES DE EIXO	42
7.1.1 EIXO SIMPLES	42
7.1.2 EIXOS TANDEM	42

7.2 TRÁFEGO.....	44
7.3 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RODOVIÁRIO	45
7.3.1 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	46
7.3.1.1 ESPESSURA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO	48
7.3.2 DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO RÍGIDO	51
7.3.2.1 PARÂMETROS INICIAIS DE DIMENSIONAMENTO – PCA/84	53
7.3.2.2 PROCEDIMENTOS PARA DIMENSIONAR O PAVIMENTO – PCA/84.....	53
7.4 DESEMPENHO	54
7.4.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL	54
7.4.2 PAVIMENTO RÍGIDO.....	55
7.5 MANUTENÇÃO	56
7.5.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL	56
7.5.2 PAVIMENTO RÍGIDO.....	57
7.6 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO	58
8 ANÁLISE COMPARATIVA	58
8.1 ESTRUTURA.....	58
8.2 EXECUÇÃO	59
8.3 MANUTENÇÃO	59
8.4 DIMENSIONAMENTO	60
8.4.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL – MÉTODO DNER	60
8.4.1.1 NÚMERO N	60
8.4.1.2 ESPESSURA DO REVESTIMENTO BETUMINOSO:	61
8.4.1.3 DETERMINAR O VALOR DE K	62
8.5 PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO PCA/84.....	63
8.6 CUSTOS	65
8.6.1 SICRO – SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS	65
8.7 RESUMO GERAL	67
9 BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE RIO VERDE	68
9.1 ESCOLHA DA PRIMEIRA GO EM PAVIMENTO RÍGIDO	71

10 CONCLUSÃO.....	72
11 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	73
12 REFERÊNCIAS	74
ANEXO I	80
ANEXO II	85
ANEXO III	98

1 INTRODUÇÃO

A construção de vias de ligação entre os povos é feita desde a antiguidade, quando tribos e aldeias construíam pontes de madeira ou corda e caminhos de ligação entre as florestas ou desertos. A necessidade de mais rapidez, praticidade e economia no transporte de cargas e pessoas, fez com que vias simples de ligação se transformassem em grandes obras. (Lopes, 2015).

O Brasil possui uma malha rodoviária com extensão de mais de 1,7 milhões de quilômetros de rodovias que estão distribuídas em rodovias federais, estaduais e municipais. Porém, desse total, apenas 213.453 quilômetros (12,4%) são pavimentados (Associação Brasileira de Pavimentos - ABPV, 2023).

Dessa pequena porcentagem de rodovias pavimentadas, predomina o uso da pavimentação flexível. Por ter um custo inicial menor, comparado com a pavimentação rígida, o pavimento flexível acaba sendo mais adotado. A pavimentação rígida ainda é pouco empregada por ter custo inicial relativamente maior, e também por geralmente ser usada apenas em rodovias de tráfegos muito intensos. (Araújo, 2016).

De acordo com Balbo (2009), pavimento de concreto é a estrutura na qual a camada de revestimento é formada por placas de concreto moldadas in situ. As placas são unidas ou por barra de transferência tanto longitudinal, quanto transversalmente a fim de promover a transferência de esforços entre placas.

O pavimento flexível pode ser definido como uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada a resistir aos esforços do tráfego e do clima e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, conforto, economia e segurança (Bernucci *et al.*, 2006).

Com isso, de acordo com Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2019) para que todos os requisitos sejam atendidos, é necessário que a estrutura do pavimento seja composta por camadas que distribuam a solicitação de cargas, limitando as tensões e as deformações de maneira que o desempenho do pavimento e da rodovia seja eficiente por um longo período.

De modo geral, este estudo tem como objetivo a análise comparativa en-tre esses dois tipos de pavimento: pavimento rígido e pavimento flexível, assim como os custos associados à sua implantação, desde a execução da obra ao término do período do projeto, indicando as suas restrições e limitações técnicas. Deste modo, permitirá o desenvolvimento de uma relação entre estes

pavimentos para indicar qual deles terá um melhor desempenho, analisando a estrutura, custo benefício, execução, e demais fatores.

Com o objetivo de se ter um exemplo prático, e também para ajudar a fundamentar a análise estudada no presente trabalho, foi escolhida a obra da GO-210. A presente obra localiza-se em todo o perímetro urbano do município de Rio Verde, localizado do estado do Goiás. O projeto visa a duplicação de parte da GO-210, do perímetro urbano de Rio Verde – GO até o trevo da GO – 174, na saída para Montividiu, com extensão total de 6,5 quilômetros. O projeto inclui reconstrução e duplicação de parte da GO-210, onde será substituído todo o pavimento flexível ali presente por pavimento rígido, nos dois sentidos da via. O material asfáltico pré-existente na composição da nova pista será aproveitado com o uso de placas de concreto de Cimento Portland (PCS), capazes de suportar o tráfego intenso de veículos pesados (Goinfra, 2024).

A obra já foi iniciada e está prevista para ser entregue em 21 meses. Toda execução da obra é de responsabilidade da Agência Goiana de Infraestrutura e transportes (Goinfra), e terá um investimento superior a R\$ 60 milhões do Fundeinfra (Fundo Estadual de Infraestrutura) (Goinfra, 2024).

2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista que o modal rodoviário é o meio de transporte mais utilizado do país e o crescente crescimento da população, tem-se também um aumento da necessidade de locomoção. Assim, para um maior conforto e segurança, cresce também a necessidade de realizar restauração das rodovias existentes e também até a construção de novas, dependendo da demanda.

Na sociedade atual, a exigência cada vez maior da coletividade quanto à qualidade dos bens e serviços públicos impõe a busca da melhor relação custo/benefício, gerando demandas por soluções técnicas mais adequadas e pertinentes. Não apenas estas exigências cobram por uma boa solução, mas o exercício em si da engenharia já supõe que a solução adotada deverá ser a mais racional e técnica e economicamente.

De acordo com o IPSOS (*Institut Public de Sondage d'Opinion Secteur*) (2018), a malha viária brasileira apresenta índice de satisfação bem abaixo da média global, apresentando 22% de satisfação para rodovias e 25% para vias locais contra as médias globais de 50% e 41%, respectivamente. Dentro dos 12,4% de rodovias brasileiras pavimentadas, a maioria é de pavimento flexível, comparado com o pavimento rígido. Contudo, existe uma grande necessidade de determinar critérios para escolha de

um tipo de pavimento que seja de qualidade, com o custo benefício bom e que traga os benefícios que a população almeja.

Os principais critérios para a identificação de um tipo de pavimento são determinados pelo estudo da sua estrutura, o seu dimensionamento, a melhor execução para que ele cumpra aquilo que é determinado, a manutenção para que tenha uma vida útil aceitável e os seus custos. Todos esses pontos se aplicam aos objetivos desse trabalho, que propõe a realizar uma análise comparativa entre os dois principais pavimentos usados atualmente, demonstrando na conclusão qual possui o melhor custo benefício.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem o objetivo de fazer uma análise comparativa do pavimento flexível com o pavimento rígido, analisando as suas características geotécnicas, utilizando o estudo de caso da obra de reconstrução de parte da GO-210, localizado em Rio Verde, Goiás.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) Apresentar uma revisão bibliográfica sobre o pavimento, suas camadas e os seus materiais constituintes, tendo como foco os pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos.
- b) Descrever as diferenças do pavimento Flexível e pavimento Rígido.
- c) Realizar uma análise comparativa entre os pavimentos flexíveis e rígidos, demonstrando qual a melhor opção em termos de estrutura, dimensionamento, execução, manutenção e custos.

4 METODOLOGIA

A análise comparativa entre os pavimentos rígidos e flexíveis, garante um melhor entendimento para fazer uma escolha adequada de uso para cada tipo de obra de rodovias e estradas, sabendo o tipo de tráfego das rodovias, sempre buscando um melhor resultado para a malha rodoviária e também para a população que irá fazer o uso do transporte. Com isso, o objetivo principal dessa pesquisa é realizar uma análise geotécnica entre o pavimento flexível e rígido utilizando o contexto da reconstrução da GO-210.

Para a realização desta pesquisa, foi adotada a metodologia baseada em uma pesquisa bibliográfica a partir de materiais publicados em livros, artigos, dissertações, teses, monografias, normas e publicações técnico-científicas, disponíveis no Google Acadêmico, na Biblioteca Digital de Teses e dissertações (BDTD), na plataforma do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), onde foram responsáveis por dar base de informações para o assunto que será tratado no trabalho, e o Goinfra (Agência Goiana de Infraestrutura e Transporte) que também trará o exemplo do estudo de caso para discussão.

Com o fundamento da revisão bibliográfica, os critérios de comparação dos pavimentos serão definidos pelos critérios geotécnicos como estrutura, dimensionamento, execução, manutenção e custos.

Estes pavimentos foram dimensionados pelos respectivos métodos atualmente mais difundidos e indicados nos Manuais de Pavimentação do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, como o método empírico presente no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), e o Método da *Portland Cement Association – PCA*, de 1984 presente no Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005), e para se fazer a simulação do dimensionamento do pavimento flexível, foi utilizado uma pesquisa feita pela GOINFRA – Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes, onde foi feito um levantamento visual contínuo (LVC), que serviu como embasamento para a confecção do Projeto Reabilitação Funcional da rodovia GO-210, através de dados ali coletados em 2023 foi possível a aplicação no presente estudo.

Ainda, para o levantamento dos preços referentes à execução da obra, a fim de fazer uma pequena simulação de valores, foram utilizadas as tabelas mais atuais disponibilizadas pelo SICRO – Sistema de Custos Rodoviários.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico será contado um pouco da história da pavimentação, de como ela surgiu e quando, os tipos de pavimentos existentes atualmente e a características de cada um.

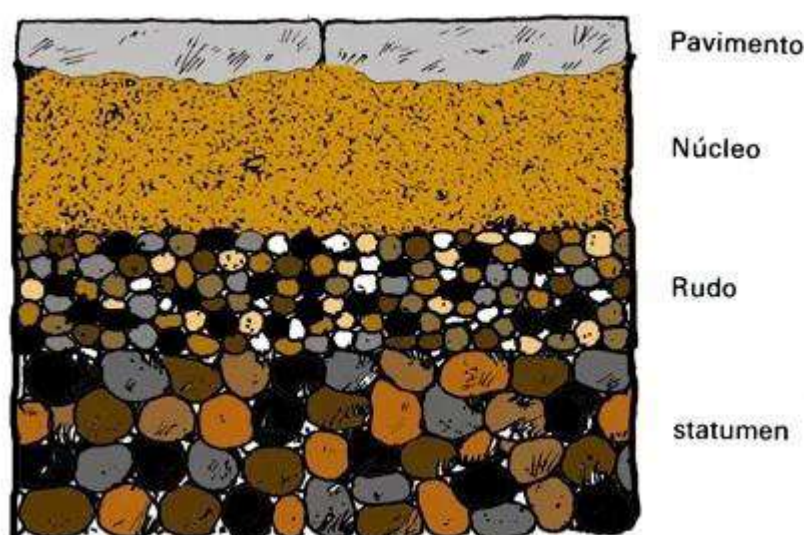
5.1 HISTÓRIA DAS VIAS E DA PAVIMENTAÇÃO

A pavimentação tem um alto valor à sociedade, pois historicamente acompanha o desenvolvimento da humanidade que se expandiu surgindo a necessidade de vias para facilitar o transporte entre povoados. As circunstâncias as quais as vias eram expostas no passado se caracterizavam por fluxos e

cargas de efeitos bem menos intensos que as atuais. Com o desenvolvimento das civilizações, mais e mais o homem expandiu suas necessidades. Nesse contexto, a locomoção sempre apareceu como uma ferramenta aliada ao processo de desenvolvimento. (Filho, 2011).

Conforme Cava (2019), os romanos foram os que aperfeiçoaram as estradas criando o que hoje é conhecido como pavimentação. As vias romanas eram otimizadas ao uso, daí nota-se certa variação nas espessuras de cada camada do pavimento (Figura 1). Balbo (2007) menciona que os construtores a serviço de Roma eram obrigados a otimizar o uso dos materiais das regiões próximas, o que indicava que a necessidade do uso de jazidas próximas com a finalidade de extração de materiais para a pavimentação já era um conceito da arquitetura romana.

Figura 1: Esquema Estrutural das Estradas de Roma



Fonte: Vias Romanas, 2017.

De acordo com Balbo (2007), a Idade Média foi um período que, devido ao isolamento social e político das regiões do continente europeu, as vias romanas foram abandonadas. Entretanto as vias Asiáticas passaram a ser mais utilizadas devido ao comércio e à influência cultural.

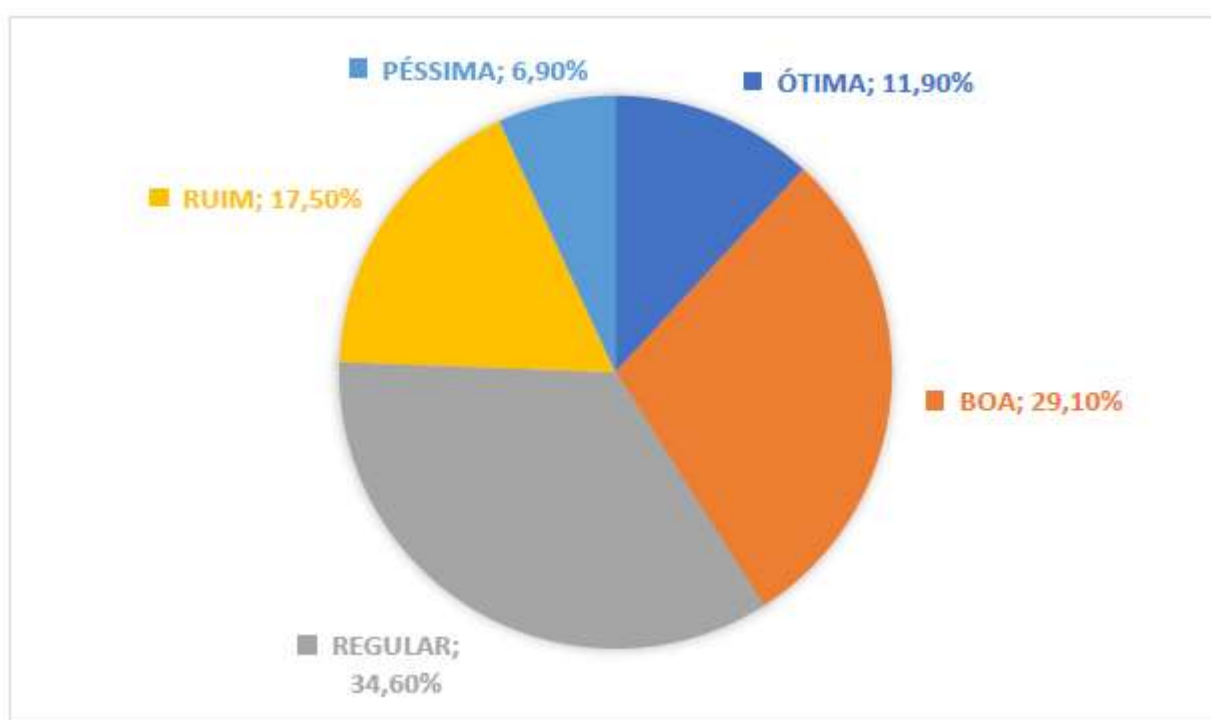
Com o fim da Idade Média, foi voltando o interesse pelo desenvolvimento de estradas. Havia inclusive leis sobre o fluxo de carruagens dentro das cidades. As estradas na Idade Média e até o início do século XIX, eram poucas, estreitas e de terra batida, sendo no máximo ladrilhadas nos centros urbanos. (Maré, 2011).

Antes da concepção dos automóveis, as solicitações ao pavimento eram efetuadas por veículos de tração animal. Estas solicitações não submetiam o pavimento ao mesmo estado de deformação que

os veículos atuais, uma vez que tanto a magnitude das cargas, como o tráfego eram bastante reduzidos. Anos depois, com o desenvolvimento e a popularização dos veículos motorizados, velocidade, cargas, e tráfego, foram aumentando. Desta forma, origina-se uma progressiva necessidade de substituição tanto dos materiais, métodos, e sistemas, usados na definição estrutural dos pavimentos como dos processos envolvidos na etapa de construção dos pavimentos rodoviários (Filho, 2011).

A qualidade de uma estrada se sustenta na boa prática da pavimentação e na adequada manutenção ao longo dos anos. O primeiro fator, por sua vez, está relacionado com a tecnologia, com as técnicas de engenharia empregadas, e com a execução da obra (Centro de Excelência em Asfalto – PETROBRAS, 2004, *apud* GONÇALVES, 2007). Atualmente boa parte das estradas brasileiras se apresenta em condições de regular à péssima, com menos de 50% em ótima ou boa condição, o que se pode observar no Gráfico 1. (CNT, 2021).

Gráfico 1: Classificação do Estado Geral das rodovias



Fonte: CNT – 2019. Adaptação ILOS.

Recentemente, a CNT – Confederação Nacional do Transporte publicou sua pesquisa de 2019 com um panorama atual da malha rodoviária brasileira. Nesse estudo, foram analisados em todo o país 108.863 quilômetros de rodovias pavimentadas. As características avaliadas foram pavimento, sinalização, geometria da via e pontos críticos. Apenas 41% obteve a classificação “ótima” ou “boa”, evidenciando

a baixa qualidade das rodovias brasileiras. Esse estudo só confirma a situação alarmante das rodovias brasileiras. O custo por viagem aumenta por conta da manutenção do veículo, do tempo percorrido, do combustível e até mesmo do seguro das transportadoras.

Para a pavimentação, quanto ao tipo de solução mais executada, temos a adoção da pavimentação flexível em revestimento asfáltico. O pavimento de concreto é pouco usado nas rodovias brasileiras apresentando ainda o estigma de ser relacionado apenas às rodovias com tráfego pesado e muito intenso. É necessário acabar com esta falsa ideia de que os pavimentos de concreto só se justificam em autoestradas e não em vias simples. (SENÇO, 2008).

5.2 ESTRADA E RODOVIAS

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), estrada se caracteriza como uma via rural não pavimentada.

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), rodovia se caracteriza como uma via rural pavimentada. São construídas de acordo com a necessidade de cada local ao qual elas vão ser utilizadas. E para atender o uso, as rodovias são classificadas por categorias de acordo com as funções que exercem (ANTAS *et al.*, 2010).

Classe 0: Rodovias do mais elevado padrão técnico, via expressa com mais de uma pista, cruzamentos em desníveis, total controle de acesso e bloqueio total de pedestres (DNIT, 2010).

Classe I-A: Rodovia de pista dupla com controle parcial de acesso, uma pista com menos rigor técnico que a classe 0, costuma ser uma pista simples que teve suas vias duplicadas, sempre é feita uma análise técnica se é necessária duplicação dessa rodovia (Lee, 2000).

Classe I-B: São rodovias de pista simples e de elevado padrão técnico, prevista para uma circulação de tráfego inferior à de Classe I-A e superior a 200 veículos horário bidirecionais (Lee, 2000).

Classe II: Corresponde a projeto de rodovia em pista simples, sendo indicada para os casos em que a demanda a atender 700 a 1400 veículos por dia. (Antas, 2010).

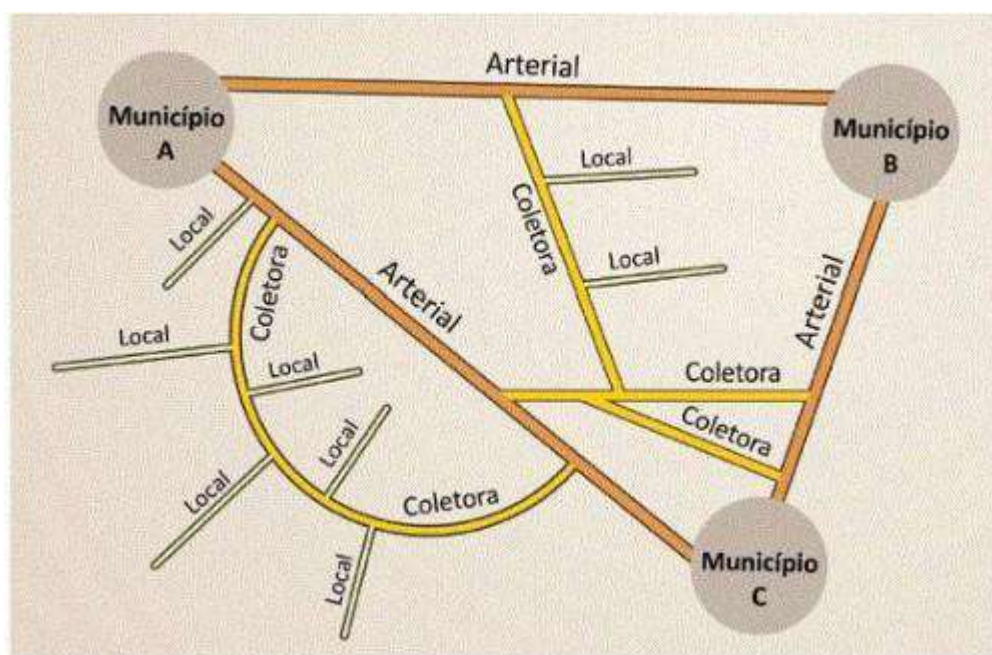
Classe III: Corresponde a projeto de rodovia prevista por projeto para atender um volume médio diário bidirecional de 300 a 700 veículos por dia. (DNIT, 2010).

Classe IV: Rodovia de pista simples, das classes, a mais pobre de projeto, podendo ser aceita sem pavimentação asfáltica, com apenas revestimento primário (estrada de chão), para um volume de tráfego inferior a Classe III.

Também há a classificação por funcionalidade (Figura 2):

- Sistema Arterial: vias de trânsito rápido.
- Coletor: aquele que coleta e redistribui o trânsito.
- Local: somente para acesso local.

Figura 2: Representação dos Sistemas arterial, coletor e local



Fonte: São Paulo 2012

5.3 PAVIMENTO

5.3.1 DEFINIÇÃO

O pavimento pode ser definido como uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada a resistir aos esforços do tráfego e do clima e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, conforto, economia e segurança (BERNU-CCI *et al.*, 2006).

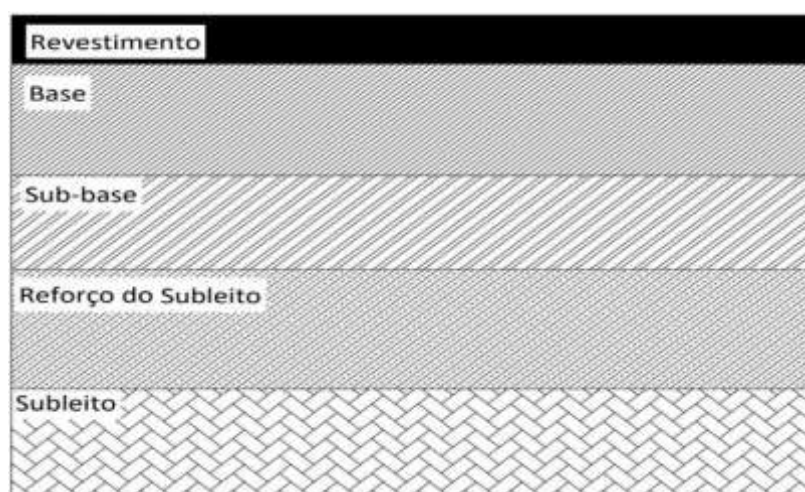
Tem como função dar estabilidade à superfície de rolamento, devendo permitir o tráfego em qualquer época do ano (Manual de Pavimentação – DNIT, 2006).

5.3.2 CAMADAS DO PAVIMENTO

As camadas (Figura 3) existem tanto para minimizar sequencialmente o esforço, proveniente dos bulbos de tensão das cargas aplicadas no leito natural por meio de suas capacidades resistentes e suas profundidades, bem como tornar a camada de rolamento ou revestimento mais delgado. (Balbo, 2007).

Balbo (2007) explica que as cargas aplicadas pelos veículos e pelo ambiente são transitórias e, portanto, cíclicas, ou pelo menos se repetem, mesmo que em magnitudes diferentes. Tais esforços podem gerar solicitações de compressão ou tração em diferentes camadas do pavimento.

Figura 3: Estrutura do Pavimento



Fonte: Adaptado de Balbo (2007) pela autora (2024).

5.3.2.1 SUBLEITO

Subleito é a fundação do pavimento, já que fica acima do leito natural do terreno. Pode ser irregular em caso de estradas de terra, as quais deseja-se pavimentar e necessita de uma regularização. Podendo haver inclusive a necessidade de um reforço do subleito. (DNIT, 2006).

5.3.2.2 REFORÇO DO SUBLEITO

Já o reforço do subleito é uma camada de espessura constante, posta por circunstâncias técnico-econômicas, acima da de regularização, com características geotécnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior, porém melhores que o material do subleito. (DNIT, 2006)

5.3.2.3 SUB-BASE

A sub-base tem função complementar à base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre regularização. (DNIT, 2006).

5.3.2.4 BASE

Conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), a base é a camada que resiste e distribui os esforços provenientes dos veículos e é sobre ela que se constrói o revestimento, seja ele rígido ou flexível.

Ainda no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), temos classificações para as bases e sub-bases, no quadro 1 temos um resumo, que podemos analisar.

Quadro 1: Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas.

Base e Sub-bases Flexíveis e Semi Rígidas	Granulares	Estabilização Granulométrica	Solo Brita
			Brita Graduada
			Brita Corrida
		Macadame Hidráulico	
	Estabilizados	Com Cimento	Solo Cimento
			Solo melhorado com cimento
		Com Cal	Solo cal
			Solo melhorado com cal
		Com Betume	Solo Betume
			Bases Betuminosas diversas

Fonte: DNIT (2006)

5.3.2.5 REVESTIMENTO

Balbo (2007) explica que uma camada de revestimento é necessária sobre a base granular, para que absorva alguns esforços que não são compatíveis com as camadas de base, de modo a desacelerar a degradação do pavimento.

O critério principal de divisão dos pavimentos é, inclusive, relacionado ao tipo de revestimento aplicado sobre as camadas de base, que influenciam em quais tipos de camadas serão utilizadas e em suas espessuras. O Manual de Pavimentação do DNIT define os pavimentos como:

- a) a) Pavimento flexível ou asfáltico: aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo: pavimento constituído por uma base de brita ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.
- b) b) Pavimento semirrígido: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.
- c) c) Pavimento rígido: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento

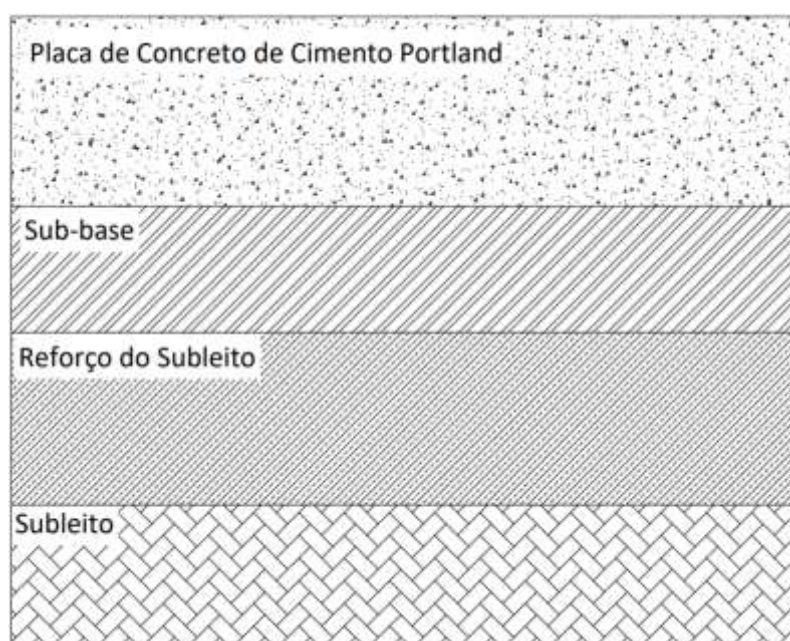
Portland (DNIT, 2006).

5.4 PAVIMENTO RÍGIDO

De acordo com Balbo (2009), pavimento rígido é a estrutura na qual a camada de revestimento é formada por placas de concreto moldadas in situ. As placas são unidas ou por barra de transferência tanto longitudinal, quanto transversalmente a fim de promover a transferência de esforços entre placas. Oliveira (2000) aponta, entretanto, que os pavimentos de concreto com barras de transferência são mais utilizados no Brasil, sendo os pavimentos sem barras de transferência destinados a áreas pouco solicitadas e com baixo fluxo.

O pavimento rígido (Figura 4), por causa da sua alta rigidez e alto módulo de elasticidade, tende a distribuir a carga aplicada sobre uma ampla área do solo, dessa maneira, a maior parte das solicitações é suportada pela própria placa de concreto. No projeto de pavimentos rígidos, o fator mais importante é a resistência estrutural do concreto, portanto, teoricamente, pequenas variações na resistência do subleito têm pouca influência sobre a capacidade estrutural do pavimento. Na prática, tem-se observado que as variações localizadas no suporte do subleito têm provocado recalques diferenciais no pavimento.

Figura 4: Estrutura Pavimento Rígido



Fonte: Adaptado de Balbo (2007) pela Autora. (2024).

5.4.1 MATERIAIS CONSTITUINTES DO PAVIMENTO RÍGIDO

5.4.1.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O concreto de cimento Portland é o mais utilizado nas obras atualmente. Ele é composto por cimento Portland, água, agregados graúdos e miúdos e que pode ter aditivos e adições minerais. (Matias, 2022).

O concreto, falando de modo geral, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Geralmente esse meio é o produto entre um cimento hidráulico e água, mas atualmente mesmo essa definição pode co-brir uma larga gama de produtos, como, pozolanas, cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, adições de minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. (Neville, Brooks, 2010).

Embora existam muitos tipos de concreto, para a pavimentação são utilizados em grande maioria o concreto convencional armado (CA), concreto armado (CA), concreto de alto desempenho (CAD) e concreto compactado a rolo (CCR). (Matias, 2022). Alguns concretos utilizam de agregados reciclados, fibras ou aditivos, porém só serão mencionados os de cimento Portland.

5.4.1.2 CONTROLE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

De acordo com Balbo (2009), os concretos produzidos com quaisquer ligantes hidráulicos necessitam de controle tecnológico estrito para desempenharem satisfatoriamente seu papel como revestimento ou como bases de pavimentos. O comportamento do concreto seco e endurecido, em especial como pavimento moldado in situ, não se restringe a questões relacionadas ao controle da resistência especificada no projeto.

5.4.1.3 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é um ligante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland, em conjunto com uma ou mais formas de sulfato de cálcio, em proporções que variam aproximadamente de 3% a 5% em massa, e eventuais adições ativas facultativas, conforme o tipo de cimento, durante o processo de fabricação. (Battagin, 2010).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, o cimento Portland é um pó fino de caráter aglutinante e que endurece quando em presença de água. É um material muito versátil por, no estado fresco, ser maleável e se permitir ser moldado conforme se queira e quando endurecido tornar-se rígido e com significativa resistência à compressão. (Matias, 2022).

5.5 TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

5.5.1 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES (PCS)

O pavimento de concreto simples é constituído de placas de concreto não armadas e separadas, geralmente, por juntas de dilatação e que transferem as cargas por meio de barras de transferência, constituída de aço. Atua também resistindo à tração e à compressão e o aço que é empregado nele é devido as barras de transferência entre placas e as barras de ligação entre placa e acostamento. Os valores de resistência à tração variam entre 3,1Mpa e 5,0 Mpa, sendo 4,5Mpa um valor usual para o concreto utilizado nesse tipo de pavimento (Figura 5). (Balbo, 2009).

5.4.1 MATERIAIS CONSTITUINTES DO PAVIMENTO RÍGIDO

5.4.1.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O concreto de cimento Portland é o mais utilizado nas obras atualmente. Ele é composto por cimento Portland, água, agregados graúdos e miúdos e que pode ter aditivos e adições minerais. (Matias, 2022).

O concreto, falando de modo geral, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Geralmente esse meio é o produto entre um cimento hidráulico e água, mas atualmente mesmo essa definição pode co-brir uma larga gama de produtos, como, pozolanas, cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, adições de minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. (Neville, Brooks, 2010).

Embora existam muitos tipos de concreto, para a pavimentação são utilizados em grande maioria o concreto convencional armado (CA), concreto armado (CA), concreto de alto desempenho (CAD) e concreto compactado a rolo (CCR). (Matias, 2022). Alguns concretos utilizam de agregados reciclados, fibras ou aditivos, porém só serão mencionados os de cimento Portland.

5.4.1.2 CONTROLE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

De acordo com Balbo (2009), os concretos produzidos com quaisquer ligantes hidráulicos necessitam de controle tecnológico estrito para desempenharem satisfatoriamente seu papel como revestimento ou como bases de pavimentos. O comportamento do concreto seco e endurecido, em especial como pavimento moldado in situ, não se restringe a questões relacionadas ao controle da resistência especificada no projeto.

5.4.1.3 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é um ligante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland, em conjunto com uma ou mais formas de sulfato de cálcio, em proporções que variam aproximadamente de 3% a 5% em massa, e eventuais adições ativas facultativas, conforme o tipo de cimento, durante o processo de fabricação. (Battagin, 2010).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, o cimento Portland é um pó fino de caráter aglutinante e que endurece quando em presença de água. É um material muito versátil por,

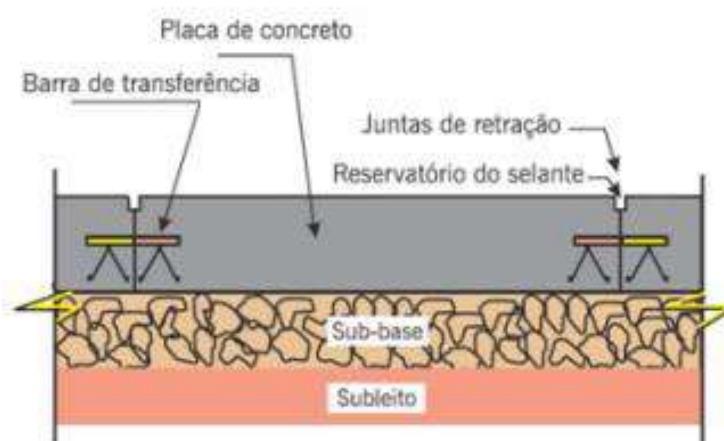
no estado fresco, ser maleável e se permitir ser moldado conforme se queira e quando endurecido tornar-se rígido e com significativa resistência à compressão. (Matias, 2022).

5.5 TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

5.5.1 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES (PCS)

O pavimento de concreto simples é constituído de placas de concreto não armadas e separadas, geralmente, por juntas de dilatação e que transferem as cargas por meio de barras de transferência, constituída de aço. Atua também resistindo à tração e à compressão e o aço que é empregado nele é devido as barras de transferência entre placas e as barras de ligação entre placa e acostamento. Os valores de resistência à tração variam entre 3,1Mpa e 5,0 Mpa, sendo 4,5Mpa um valor usual para o concreto utilizado nesse tipo de pavimento (Figura 5). (Balbo, 2009).

Figura 5 – Ilustração Pavimento Concreto Simples (PCS)



Fonte: Silva (2018)

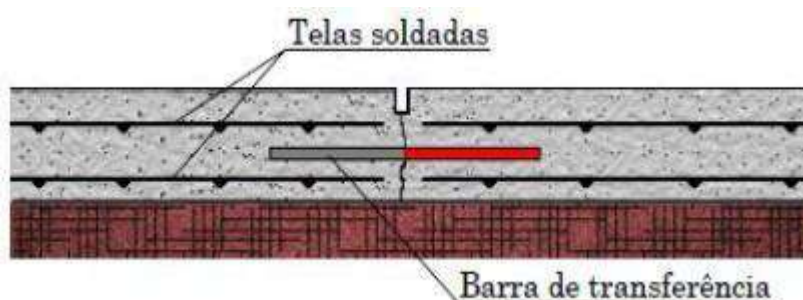
5.5.2 PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO (PCA)

Esse tipo de pavimento de concreto é formado por placas armadas na parte inferior, onde se desenvolvem as maiores tensões de tração. O aço tem a função de resistir a essas tensões, diminuindo, assim, a espessura do concreto. (oliveira, 2000).

Vale salientar que armaduras colocadas acima da linha média de seção não conferem ao pavimento a classificação como PCA, pois armaduras negativas, em geral, são colocadas ali para combater a retração, porém, sabe-se que a utilização de armaduras na face superior dos pavimentos de concreto vem sendo abandonada. (BALBO, 2009).

Devido as suas características, as placas de PCA são reduzidas e há um maior espaçamento entre as juntas em relação ao PCS, havendo uma redução do custo relativo ao consumo de concreto, mas um aumento do custo devido à presença da armadura (Figura 6). (Oliveira, 2000).

Figura 6 – Ilustração Pavimento Concreto Armado (PCS)



Fonte: Oliveira (2000)

5.5.3 PAVIMENTO DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO (CCR)

Indicado para a execução de obras de pavimentação e barragens, o concreto compactado a rolo (CCR) também é conhecido como concreto rolado (Figura 7). Esse concreto constitui um material seco, de consistência dura, com baixo consumo de cimento, de trabalhabilidade tal que possa ser compactado com rolos compressores. Em determinadas situações, é recomendável o acréscimo de aditivos, como retardadores de pega. Por sua baixa fluidez, o CCR é ideal para obras de terra e enrocamento, que necessitam de grandes volumes de concreto e dispensam elevados índices de resistência à tração e à flexão. (Oliveira, 2000)

Figura 7 – Ilustração Pavimento Concreto Compactado a Rolo (CCR)

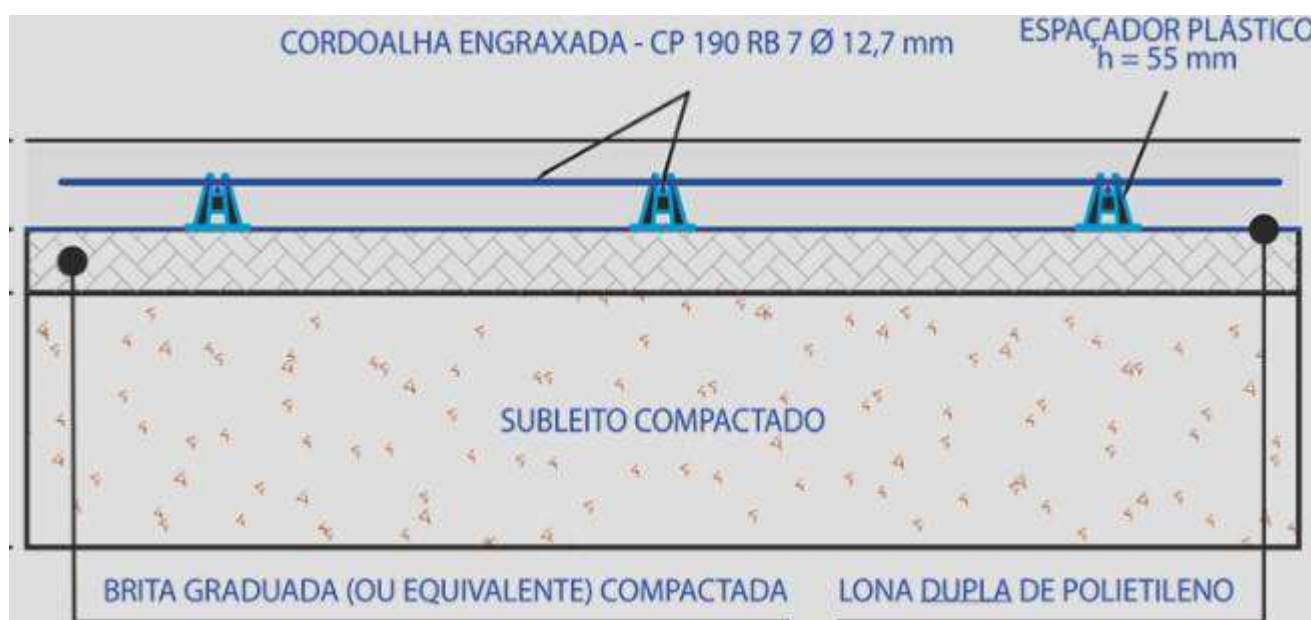


Fonte: Vadim Ratnikov (2016)

5.5.4 PAVIMENTO DE CONCRETO PROTENDIDO (PCPRO)

A concepção de um pavimento de concreto protendido pode abarcar a pre-sença simultânea de armaduras convencionais e de cordoalhas protendidas, ou apenas estas últimas. Nesse caso, realizada uma protensão prévia ou posterior das barras de aço, criam-se esforços de compressão na estrutura antes mesmo de sua solicitação por cargas externas. Durante a atuação dos carregamentos exteriores, por veículos ou por efeitos ambientais, apenas ocorre tração no concreto protendido quando o esforço prévio de compressão é superado, o que permite uma redução apreciável na espessura da placa pela tolerância de maiores momentos fletores (Figura 8). (Balbo, 2009).

Figura 8 – Ilustração do Pavimento de Concreto Protendido (PCPRO)



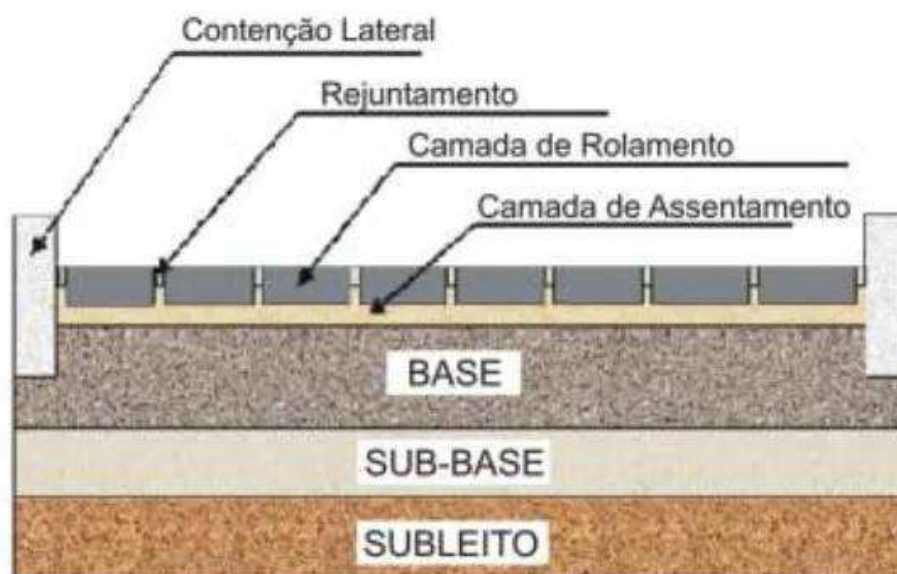
Fonte: Candido (2014) apud Silva (2018)

5.5.5 PAVIMENTO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO (PCPM)

Segundo Cristiano e Maia (2014), as placas pré-moldadas garantem controle e precisão, pois são feitas sob medida e garantem maior controle sobre a produção e, conseqüentemente, melhores condições de cura, resistências mais elevadas e maior homogeneidade para o concreto, tem-se mais detalhes na Figura 9.

Balbo (2009) afirma que as placas pré-moldadas podem ser protendidas, sendo que a pretensão deve ser aplicada na fabricação das placas. Nota-se que deve haver cuidado com o detalhamento da estrutura, pois, além da armadura necessária para o transporte e a armadura de protensão, o concreto possuirá também barras de transferência e ligação.

Figura 9 – Ilustração do Pavimento Concreto Pré-Moldado (PCPM)



Fonte: Manual técnico de piso intertravado de concreto (2016)

5.5.6 WHITETOPPING (WT)

A terminologia Whitetopping, é devido a diferença visual entre as coberturas de concreto sobre os antigos pavimentos asfálticos. Consiste em uma nova camada de revestimento de um antigo pavimento seja ele asfáltico ou concreto, em que poderá ser PCS, PCA, PCAC, PCPRO ou PCPM, de acordo com a necessidade construtiva da situação (Figura 10). (Cristiano e Maia, 2014).

Figura 10 – Aplicação de Whitetopping



Fonte: Cristiano e Maia (2014)

5.5.7 WHITETOPPING ULTRA DELGADO (WTUD)

Conforme Balbo (2009), o termo “ultra delgado” é uma tradução do original em inglês ultra-thin. O WTUD é definido como placas de concreto moldadas com menos de 100 mm de espessura e com pouco espaçamento entre as juntas.

5.5.8 BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Os blocos de concreto também são conhecidos como Pavers e Paviess. São intertravados, pré-fabricados, maciços e que permitem pavimentar completamente uma superfície. O intertravamento é a capacidade que o material tem de resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes. (Fiotiri, 2007).

Figura 11 – Exemplo de Pavimentação com Bloquete Intertravado



Fonte: HR Premo (2019)

5.6 PAVIMENTO FLEXÍVEL

O asfalto utilizado em pavimentação flexível é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, impermeável a água e pouco reativo. No Brasil utiliza-se a denominação Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP para designar esse produto semissólido a temperaturas baixas, viscoelástico a temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas, e que se enquadra em limites de consistência para determinadas temperaturas estabelecidas em especificações que serão mostradas mais adiante. (BERNUCCI et al., 2008).

De acordo com Araújo et al. (2016), o pavimento flexível se caracteriza por não romper e é constituído por materiais betuminosos, sendo estes os diversos tipos de concretos asfálticos. (Quadro 2).

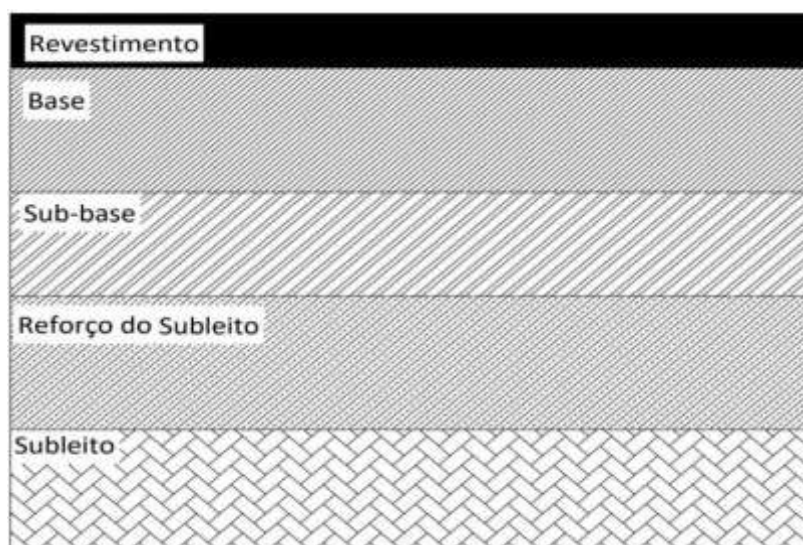
Quadro 2 – Tipos de Revestimentos Asfálticos

Por Penetração	Direta	Macadame Betuminoso
	Invertida	Tratamento Superficial Simples
		Tratamento Superficial Duplo
		Tratamento Superficial Triplo
Por Mistura	A Quente	Pré Misturado: Denso, aberto, tipo macadame
		Concreto Betuminoso: Concreto Asfáltico, concreto alcatroado
		Argamassa Betuminosa: Areia betume, Sheet-asphalt
		Em usina (Pré misturado): Denso, aberto, tipo macadame
		Na Estrada: Misturas graduadas, Argamassa Betuminosa (areia Betume)

Fonte: Pinto e Pinto (2015)

Pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes e ao rompimento por fadiga. (Senço, 2008).

O pavimento flexível tem suas camadas constituídas pelo revestimento asfáltico, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, conforme a figura 12:

Figura 12 – Camadas do pavimento flexível

Fonte: Adaptado de Balbo (2007) pela autora (2024)

5.6.1 TIPOS DE ASFALTO

Nesse tópico será descrito alguns tipos de asfaltos presentes atualmente, como: concreto asfáltico, asfalto usinado a frio, lama asfáltica e micro revestimento.

5.6.1.1 CONCRETO ASFÁLTICO

Um dos tipos de revestimento asfáltico mais empregados no Brasil é o concreto asfáltico, também conhecido como concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Ocorre no processo usinado a quente a mistura dos agregados, e do ligante, concreto asfáltico a quente. Ambos são aquecidos em altas temperaturas já estipuladas de acordo com as particularidades de temperatura e viscosidade do ligante (BERNUCCI *et al*, 2007).

5.6.1.2 CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A FRIO

Já no processo usinado a frio, Senço (2008) afirma que a pré-mistura de agregados de várias granulometrias (gráudos, miúdos e de enchimento) ocorre e também da emulsão asfáltica de petróleo (EAP). O autor ainda explica que ocasionalmente o ligante poderá sofrer um pequeno aquecimento para a mistura, mas geralmente ele é operado em temperatura ambiente. Também é possível usar combinações asfálticas que são processadas em usinas móveis, para que a mistura fique pronta rapidamente antes da aplicação no pavimento para deixar o processo ainda mais eficiente, e em casos de restauração e selagem de algumas características funcionais dos pavimentos. Em geral estas

misturas são relativamente fluidas (pastoso), tais como a lama asfáltica e o micro revestimento, que são fáceis de manusear. (BENUCCI *et al*, 2007).

5.6.1.3 LAMA ASFÁLTICA

A lama asfáltica nada mais é que a associação de agregado mineral, emulsão asfáltica, material de enchimento (filler) e água, com textura fluída, harmoniosamente espalhada sobre a superfície previamente preparada para o pavimento (DNER-ES 314/97).

5.6.1.4 MICRO REVESTIMENTO ASFÁLTICO

O micro revestimento asfáltico aplica o mesmo fundamento e conceito da lama asfáltica, no entanto, para tornar maior a vida útil do pavimento utiliza emulsões asfálticas modificadas com polímeros. A norma também descreve o micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero na combinação de agregado, material de enchimento (filler), emulsão asfáltica modificada por polímero do tipo SBS, água, aditivos se necessários, com consistência fluida, igualmente distribuída sobre uma superfície previamente preparada (DNIT-ES 035/04). (BERNUCCI *et al*, 2007).

5.6.2 MISTURAS QUENTES

Bernucci *et al*. (2008) apontam que as misturas a quente são divididas em três categorias, quanto aos agregados utilizados:

- a) Graduação densa: possui curva granulométrica contínua e bem graduada, com poucos vazios. Por exemplo: Concreto Asfáltico Denso (CA);
- b) Graduação aberta: curva granulométrica uniforme com quase todos os agregados com um mesmo diâmetro e muitos vazios interconectados. Por exemplo: camada porosa de atrito (CPA);
- c) Graduação descontínua: curva granulométrica com quantidade dominante de grãos com maiores dimensões, completados por alguma quantidade de finos. Por exemplo: matriz pétrea asfáltica ou *stone matrix asphalt* (SMA).

5.6.2.1 CONCRETO ASFÁLTICO DENSO

O concreto asfáltico denso é uma mistura a quente bem graduado e pode ser convencional com CAP e agregados aquecidos, conforme DNIT 031 – ES (2006) ou com asfalto modificado por polímeros e ainda por asfalto-borracha.

5.6.2.2 CAMADA POROSA DE ATRITO

O CPA é uma mistura a quente com granulometria aberta e, por isso, apresenta vazios interconectados e daí vem sua capacidade drenante. Como a granulometria do CPA difere do CA, a norma DNIT 032 (2005) caracteriza os limites da curva para o CPA.

Esse revestimento é responsável pela coleta da água de chuva para o seu interior e é capaz de promover uma rápida percolação da mesma devido a sua elevada permeabilidade, até a água alcançar as sarjetas. A característica importante dessa mistura asfáltica é que ela causa:

- a) Redução da espessura da lâmina d'água na superfície de rolamento e consequentemente das distancias de frenagem;
- b) Redução do spray proveniente do borrfio de água pelos pneus dos ve-ículos, aumentando assim a distância de visibilidade; e,
- c) Redução dos reflexos da luz dos faróis noturnos.

5.6.2.3 MATRIZ PÉTREA ASFÁLTICA OU *STONE MATRIX ASPHALT*

O SMA é um revestimento asfáltico, usinado a quente, concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos, aumentando a interação grão/grão. A mistura se caracteriza por conter uma elevada porcentagem de agregados graúdos e, devido a essa particular graduação, forma-se um grande volume de vazios entre os agregados graúdos. Esses vazios, por sua vez, são preenchidos por um mastique asfáltico, constituído pela mistura da fração areia, files, ligante asfáltico e fibras (Figura 13). (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Figura 13 – Detalhe da superfície de um pavimento com SMA



Fonte: Bernucci et al. (2008)

5.6.2.4 AREIA ASFALTO USINADA A QUENTE (AAUQ)

Conforme Bernucci et al. (2008), existem também as argamassas asfálticas. Em regiões que não se têm agregados graúdos disponíveis o DNIT permite que o asfalto seja feito com agregado miúdo, em geral areia, ligante e filler se necessário. A norma DNIT 032 (2005) prevê um uso maior de ligante, devido a maior superfície de contato dos grãos, por causa do menor diâmetro.

5.6.3 MISTURAS FRIAS

Os pré-misturados a frio (PMF) consistem em misturas usinadas de agregados graúdos, miúdos e de enchimento, misturados com emulsão asfáltica de petróleo (EAP) à temperatura ambiente. O PMF pode ser utilizado para vias de baixo tráfego e também é classificado, quanto à granulometria de seu agregado, podendo ser denso, com poucos vazios ou aberto, com elevado volume de vazios. (BERNUCCI et al., 2008).

Como já visto, o volume de vazios influencia na permeabilidade, se não alterada a quantidade de ligante. E de acordo ainda com Bernucci et al. (2008), o PMF com menos de 12% de vazios na permeabilidade, pode ser utilizado como revestimento, caso contrário é necessária uma capa selante, se for camada de rolamento.

A seguir, tem-se a Tabela 3 com algumas vantagens e desvantagens das misturas a quente e as misturas a frio.

Quadro 3 – Comparação entre misturas a quente e a frio

Misturas a Quente	
Vantagens	Desvantagens
São mais duráveis	Exigem aquecimento do agregado
São menos sensíveis à ação de cargas	Exigem instalações complexas para a fabricação
São mais indicadas para tráfego intenso ou pesado	Exigem equipamento especial para o espalhamento
São menos sujeitas ao desgaste	Não permitem estocagem
	São caras
Misturas a Frio	
Vantagens	Desvantagens
Fácil fabricação	São susceptíveis a maior desgaste
Não exigem aquecimento do agregado	São mais sensíveis às cargas
São fabricadas em instalações simples e pouco custosas	Exigem cura da mistura
Permitem espalhamento com patola	
Permitem estocagem	

Fonte: Pinto e Pinto (2015)

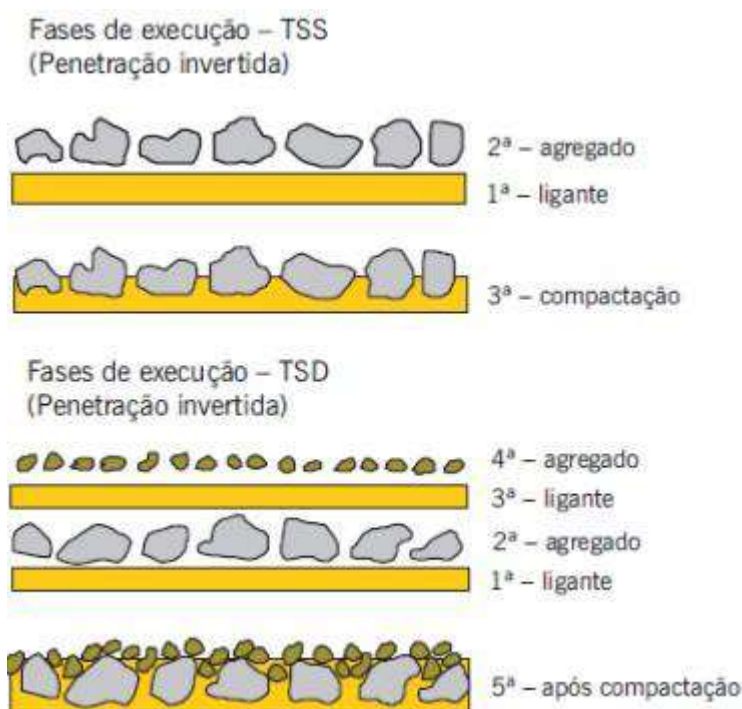
5.6.4 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Consistem em aplicações sucessivas de ligante e agregados tantas vezes quantas for descrito pelo tipo de tratamento (Figura 14).

- Tratamento Superficial Simples (TSS): uma camada ligante aplicada sobre a imprimação, seguida de uma camada de agregados, sendo uni- dos depois por compactação;
- Tratamento Superficial Duplo (TSD): mais uma camada de ligante e outra de agregados após as camadas aplicadas no TSS, seguidas de compactação;
- Tratamento Superficial Triplo (TST): outras duas camadas, uma de li- gante e outra de agregados, respectivamente, sobre as camadas dos tratamentos anteriores. Por fim, compacta- se todas as camadas.

Os autores Bernucci et al. (2008) afirmam que as funções do tratamento superficial são: oferecer uma camada de rolamento fina, mas resistente ao des- gaste; impermeabilizar e proteger a estrutura viária; proporcionar uma camada de rolamento antiderrapante e de alta flexibilidade.

Figura 14 – Esquema de tratamento superficial



Fonte: Bernucci et al. (2008)

6 PESQUISAS SIMILARES

Nesse tópico, tem-se alguns trabalhos similares divididos em pesquisas nacionais e pesquisas internacionais.

6.1 PESQUISAS NACIONAIS

Quadro 4 – Pesquisas Similares Nacionais

Autores	Resumo da Pesquisa
COSTA (2014)	Em sua pesquisa fala sobre o recapeamento asfáltico sobre pavimento rígido, utilizando um estudo de caso da rodovia BR – 101. A obra de restauração da pista prevê a utilização de uma técnica pouco usual no contexto rodoviário brasileiro, que é o recapeamento asfáltico do pavimento de concreto com utilização de geogrelha polimérica para combates a reflexão de trincas. No entanto, esses procedimentos, principalmente os que envolvem demolição ou reciclagem da placa de concreto, podem resultar em elevados custos, além de não ser aproveitada a estabilidade do pavimento existente. Por esse motivo, a técnica do simples recapeamento asfáltico se apresenta como uma alternativa de restauração para pavimentos rígidos. Em seu estudo, COSTA (2014) concluiu que para a estrutura estudada a geogrelha não contribui para absorver o carregamento proveniente do tráfego.

CIPRIANO, LIMA E SILVESTRE (2021)	Em sua pesquisa, fez um estudo comparativo de pavimento rígido e pavimento flexível através da análise de solo na PB – 008. De acordo com seus estudos, para que o tráfego nas rodovias seja seguro e com fluidez, o pavimento deve suportar aos efeitos do clima, não causar desgaste excessivo nos pneus, ser forte estruturalmente, atender ao nível de fluxo com eficiência e ter um bom sistema de drenagem na qual seja eficiente para o escoamento da água na superfície do pavimento. Considerando esses aspectos, faz-se necessário ressaltar a importância de ao implantar uma rodovia, seja também dada atenção a qualidade do solo existente na região e ao seu respectivo comportamento quando a tensão for aplicada sobre o mesmo. Para chegar as considerações finais foram feitos ensaios regidos por norma para distinguir todas as características daquele local, e foi constatado que o tipo de solo daquela região era composto por areia do tipo fina, tendo mudança na coloração e uma pequena quantidade de argila na sua composição.
KERTIZ e SUAREZ (2023)	Fizeram uma análise comparativa entre Pavimento Rígido e Pavimento Flexível com o estudo de caso da implantação da Rodovia MS – 380, no município de Ponta Porã. Neste estudo, a análise orçamentária desenvolvida propôs comparar o custo da implantação das duas alternativas, de maneira a estimar o custo das macros atividades necessárias como os serviços de pavimentação, a aquisição do material betuminoso e o transporte do material betuminoso para o canteiro. Por sua vez a análise estrutural almejou estudar o comportamento de ambas as estruturas quando expostas ao aumento das solicitações advindas do crescimento do tráfego e assim verificar quais limitantes para cada alternativa. No que diz respeito ao comparativo de custos de implantação entre Pavimento Rígido e Pavimento Flexível, mensurou-se que a solução em Pavimento Rígido apresentou maior viabilidade econômica. No tocante a análise estrutural, ambas as soluções apresentaram suficientes dentro do tempo previsto em projeto, de acordo com suas respectivas metodologias, bibliografia e normativas vigentes.
COSTA (2013)	Também em sua pesquisa trouxe uma análise comparativa sobre o pavimento flexível e o pavimento rígido. A pesquisa busca identificar os usos mais aconselháveis para os respectivos tipos de pavimento citados, assim como os custos associados à sua implantação, desde a execução da obra ao termino do período de projeto, indicando suas restrições e limitações técnicas. Tal pesquisa teve caráter totalmente teórico.
SANTOS (2019)	Em sua pesquisa trouxe uma análise comparativa sobre o pavimento flexível e o pavimento rígido. Atualmente há muita especulação sobre qual método construtivo apresenta um custo benefício mais adequado para os tempos atuais, já que a tecnologia e os tempos modernos sempre trazem benefícios a sociedade. Foi realizado um levantamento teórico sobre os aspectos mais relevantes relacionados a pavimentos e também foi estudado o projeto de Cocalinho de Goiás, na GO-454, afim de levantar dados de dimensionamento e execução.

Fonte: Autora (2024)

6.2 PESQUISAS INTERNACIONAIS

Quadro 5 – Pesquisas Similares Internacionais

Autores	Resumo da Pesquisa
BISWASB e SHUBHAM (2023)	Em sua pesquisa trouxeram uma revisão sistemática sobre o desempenho do pavimento asfáltico recuperado (RAP) como material sustentável na construção de pavimentos rígidos: da situação atual à perspectiva futura. A Índia é um país em desenvolvimento e é necessário construir um novo pavimento para o desenvolvimento econômico e social. O uso do RAP diminui a quantidade de resíduos e auxilia nos problemas de descarte de materiais de construção de rodovias. O artigo tem como objetivo principal compreender claramente os benefícios dos agregados RAP com uma comparação com agregados naturais.
JAIN, JOSHI e GOLIYA (2013)	Em sua pesquisa falam sobre projeto de pavimentos rígidos e flexíveis por vários métodos e análise de custos de cada um. O sistema de transporte da Índia é governado principalmente pelo Congresso Rodoviário Indiano (IRC). O objetivo do estudo é desenvolver uma estratégia para selecionar o pavimento mais econômico para o método de projeto a ser realizado para seções de uma malha rodoviária e também identificar a análise de custos de diferentes métodos de projeto de pavimentos.
TARSI, TATA-RANNI e SAN-GIORGI (2020)	Descrevem em sua pesquisa os desafios do uso do pavimento asfalto recuperado para novas misturas asfálticas: uma revisão. Graças ao uso do material do Pavimento Asfáltico Recuperado (RAP) em novos produtos asfálticos, os EUA economizaram 4,1 milhões de toneladas de ligante virgem e 78 milhões de toneladas de agregados virgens em 2018. O material RAP representa um dos produtos de construção mais reaproveitados mundialmente. A quantidade de RAP em concretos asfálticos pode ser significativamente aumentada pela aplicação de boas práticas de gestão da RAP, processada ou não, bem como novas tecnologias de produção e abordagens avançadas de design de mistura. Este manuscrito tem como objetivo resumir o estado da arte da utilização de agregados RAP em novas misturas asfálticas.
TAHER, ALYOUSIFY e HASSAN	Em sua pesquisa trazem um estudo comparativo da utilização de pavimentos flexíveis e rígidos para estradas: um estudo de revisão. este estudo apresentará uma revisão comparativa sobre a adequação de usando pavimentos rígidos e flexíveis em estradas dependendo do tráfego, clima, fundação, custo de vida, materiais, consideração de manutenibilidade e segurança. Os estudos revisados mostram que o dimensionamento de pavimentos de concreto é baseado na resistência à flexão, enquanto no pavimento asfáltico é baseado nas características de distribuição de carga das camadas componentes. A vida útil do pavimento de concreto é ligeiramente maior que a do pavimento asfáltico.
	A inicial custo do pavimento flexível menor que o custo do pavimento rígido, mas, inversamente, o custo do pavimento flexível o pavimento é mais do que o pavimento rígido no longo prazo devido aos custos de manutenção. O pavimento rígido tem melhor capacidade e durabilidade para manter uma forma contra o tráfego e dificuldades condições ambientais do que o pavimento flexível.

Fonte: Autora (2024)

7 SOLICITAÇÕES AO PAVIMENTO PELA CARGA RODOVIÁRIA

O pavimento rodoviário tem como função proporcionar estabilidade à superfície de rolamento da via. Para isso, ele deve resistir aos esforços incidentes em sua estrutura, sendo capaz de suportar o tráfego estabelecido na via. (Greco, 2013).

A principal ação de solicitação do pavimento rodoviário origina-se das forças exercidas pelas rodas dos veículos comerciais, podendo assim desprezar ações ocasionadas por veículos leves ou de passeio. Através das rodas pneumáticas as cargas dos veículos são transmitidas ao pavimento. Desta forma, para efetuar o dimensionamento do pavimento, é de grande importância ter conhecimento sobre o tráfego de veículos comerciais, tais como caminhões e ônibus. Entretanto, o projeto geométrico da via, leva-se em consideração tanto o tráfego de veículos comerciais quanto o tráfego de carros de passeio (Marques, 2013).

O tráfego rodoviário é formado por veículos de diferentes configurações e magnitudes de cargas e o conhecimento adequado das suas características é muito importante para o estudo do comportamento de pavimentos, tanto rígidos como flexíveis, e os danos causados a essa estrutura. Todas essas informações podem contribuir também para as causas de deterioração dos pavimentos, delineando as tendências gerais das propagações de defeitos tipicamente causados pela ação do tráfego (Marques, 2013).

7.1 CONFIGURAÇÕES DE EIXO

Como já se sabe, as rodas dos veículos exercem pressão sobre o pavimento. Assim, diante da configuração do arranjo das rodas, temos eixos distintos, os quais podem gerar diferentes pressões que solicitam o pavimento com cargas de intensidade variada. Segundo o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006), podemos ter as seguintes classificações para a acoplagem das rodas ao eixo:

- Eixos Simples;
- Eixos Tandem;

7.1.1 EIXO SIMPLES

O eixo simples é composto por um conjunto de duas rodas, cujos centros estão em um plano transversal vertical ou podem ser incluídos entre dois planos transversais verticais, distantes de 100 cm, que se estendam por toda a largura do veículo (Marques, 2013).

- Eixo Simples de Rodas Simples: com duas rodas, uma em cada extremidade (2 pneus);
- Eixo Simples de Rodas Duplas: com quatro rodas, duas em cada extremidade (4 pneus).

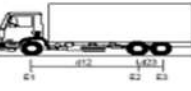
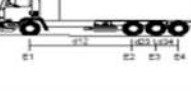
7.1.2 EIXOS TANDEM

É um conjunto de dois ou mais eixos consecutivos, cujos centros estão distantes de 100 cm a 240 cm e ligados a um dispositivo de suspensão que distribui a carga igualmente entre os eixos. (Marques, 2013).

- Eixo Tandem Duplo: dois eixos com duas rodas em cada extremidade cada eixo, 8 pneus, possui espaçamento médio de 1,36 m;
- Eixo Tandem Triplo: com três eixos, duas rodas em cada extremidade de cada eixo, 12 pneus.

A imagem abaixo (Figura 15) retirada do Manual de Estudo de tráfego do DNIT, exemplifica melhor as classificações, configurações e cargas dos modelos de eixos mencionados acima:

Figura 15 – Classificações, Configurações e cargas dos eixos

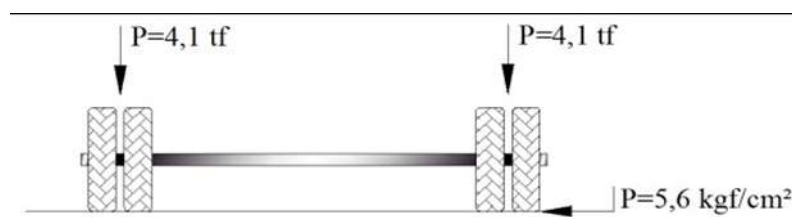
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2	16(16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t d12 ≤ 3,50m	2C
	3	23(24,2)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t d12 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 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 ≤ 2,40m	4C

Fonte: Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006)

Como em uma rodovia trafegam vários tipos de veículos com várias car- gas em cada eixo, é necessário introduzir o conceito de Eixo Padrão Rodoviário. (Costa, 2013). Onde esse eixo é definido com um eixo simples de rodas duplas com as seguintes características:

- Possui ao todo 8,2 tf;
- Pressão de 5,6 kgf/cm²;

A imagem abaixo nos traz uma representação do eixo padrão rodoviário.

Figura 16 – Eixo Padrão Rodoviário

Fonte: Costa (2013)

7.2 TRÁFEGO

O estudo do tráfego permite a determinação quantitativa da capacidade da via e um estabelecimento preliminar da alternativa de solução construtiva necessária à execução ou mesmo à melhoria do projeto de pavimentação. (Greco, 2012).

A composição do tráfego para dimensionamento de um pavimento é baseada no volume diário médio de veículos do período de projeto, acrescentando uma taxa de crescimento de tráfego. O Volume diário médio (VDM) é definido como número de veículos que circulam em uma estrada durante um ano dividido pelos dias do ano. Ainda assim, nesse valor VDM é acrescentado uma taxa de crescimento que é baseada no crescimento histórico do fluxo de veículos no trecho ou região, onde é aconselhável utilizar a taxa de 5% ao ano, quando não se tem todos os dados. (Greco, 2012).

O projeto de um pavimento rodoviário é feito levando em consideração um período de tempo determinado, denominado período “P”, expresso em anos. Nesse início do período P, é admitido que na via ocorre um volume diário de veículos inicial “V1”. No final do período considerado, o volume final é chamado de tráfego total, denominado “Vt”. (Greco, 2012).

De acordo com Greco (2012) para uma taxa t de crescimento em progressão, pode-se determinar o volume médio de tráfego diário com a Equação 1:

$$V_m = \frac{V_1 \left[2 + (P - 1) * \frac{t}{100} \right]}{2} \quad (1)$$

V_m = volume final médio diário de tráfego em apenas um sentido

V_1 = volume inicial médio diário de tráfego em apenas um sentido

P = quantidade de anos do período

$t = \text{taxa de crescimento}$

O volume total de tráfego, para uma taxa t de crescimento em progressão exponencial, pode ser determinado através das equações abaixo. (Equação 2 e Equação 3).

$$Vt = 365 * P * Vm \quad (2)$$

Ou

$$Vt = \frac{365 * V1 * \left[\left(1 + \frac{t}{100} \right)^P - 1 \right]}{\frac{t}{100}} \quad (3)$$

$Vt = \text{volume total de tráfego no período em apenas um sentido}$

$V1 = \text{volume inicial médio diário de tráfego em apenas um sentido}$

$P = \text{quantidade de anos do período}$

$t = \text{taxa de crescimento}$

7.3 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO RODOVIÁRIO

O dimensionamento de um pavimento consiste em definir as espessuras das camadas que o constituem, de forma que estas camadas resistam e transmitam ao subleito as pressões originadas pelo tráfego, sem que ocorra ruptura ou deformações e a desgastes excessivos. (Greco, 2012).

De modo geral, para se dimensionar os pavimentos flexíveis, segundo o método empírico do DNIT, considera-se a capacidade o subleito e o número equivalente de operações do eixo padrão. Já o dimensionamento dos pavimentos rígidos, segundo a PCA (Portland Cement Association) baseia-se nas propriedades mecânicas do concreto, no suporte da fundação (coeficiente de recalque) e em características do carregamento, tais como: magnitude das cargas e o efeito das repetições de eixo durante o período de projeto. Logo mais serão apresentados dois métodos de dimensionamento escolhidos para serem adotados.

7.3.1 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

Atualmente o método mais utilizado para o dimensionamento de pavimentos flexíveis é o método empírico, o qual é caracterizado no manual de pavimentação do DNIT. O pavimento flexível, quando adotado o método empírico, é dimensionado em função do suporte do subleito, sendo a determinação da capacidade de suporte do subleito e dos demais materiais que constituem o pavimento, feita através do ensaio de CBR. Com base no CBR das camadas constituintes do pavimento, e na intensidade do tráfego, tem-se uma espessura mínima a ser adotada para o pavimento. (Greco, 2012).

O Manual do DNIT indica que os materiais empregados no pavimento devem obedecer a seguinte classificação de materiais granulares:

- Materiais para reforço do subleito: $CBR > CBR_{subleito}$; Exp. $\leq 2\%$
- Materiais para sub-base: $CBR \geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$
- Materiais para base: $CBR \geq 80\%$, expansão $0,5\%$, Limite Liquidez $\leq 25\%$, Índice de Plasticidade $\leq 6\%$.

Para se fazer o dimensionamento de um pavimento flexível, é necessário seguir os seguintes parâmetros:

- Fator de Eixo – FE
- Fator de Carga – FC
- Fator Climático regional – FR
- Fator de Veículo – FV
- Número N;

Número N: a partir do momento que se tem o valor de V_t (2), calcula-se o N, que é o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto e o parâmetro de tráfego usado no dimensionamento.

$$N = V_t * FV$$

Ou

$$N = V_t * FE * FC * FR$$

V_t = volume total final

FV = fator de veículo

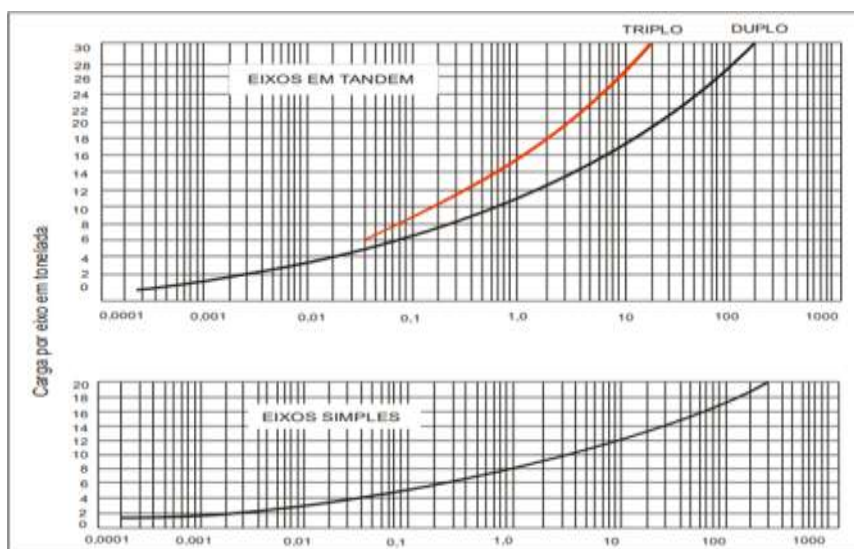
FE = Fator de eixo

FC = fator de carga

FR = fator regional (4)

Para o cálculo de FE , FC e FV é necessário conhecer a composição de tráfego. Para isso, é necessário fazer uma contagem de tráfego na estrada que se está considerando, estudando um certo volume total do tráfego, V_t . Através do ábaco da Figura 17 pode fazer a contagem do número total de eixos n e a sua pesagem. (DNIT, 2006).

Figura 17 – Fatores de Equivalência de Operação



Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006)

Fator de Veículo (FV): é um número que ao ser multiplicado pelo número total de veículos (V_t), resulta diretamente no número de operações do eixo padrão rodoviário (número N) equivalente ao número de operações dos eixos reais dos veículos que solicitam a via, já considerando fatores de carga e eixo (Marques, 2013). O fator de veículo é dado por:

$$FV = FE * FC$$

Onde:

FV = fator de veículo

FE = Fator de eixo

FC = fator de carga (5)

Fator de Eixo (FE): representa a quantidade total de eixos dos veículos previstos que solicitarão a via. É um coeficiente que multiplicado pelo volume total de tráfego comercial que solicita o pavimento durante o período de projeto determinado, fornece uma estimativa para o número total de eixos que solicitarão o pavimento neste mesmo período. (Marques, 2013).

Fator de Carga (FC): o fator de carga pode ser definido como um coeficiente que, multiplicado pelo número de eixos que solicitam o pavimento durante o período de projeto, fornece o número equivalente de operações do eixo simples padrão.

Onde:

FC = fator de carga;

$F_c = \sum FEO * PCiAm$ (6)

FEO = Fator de equivalencia de operação;

PCAm = porcentagem de carga i (tf) na amostra;

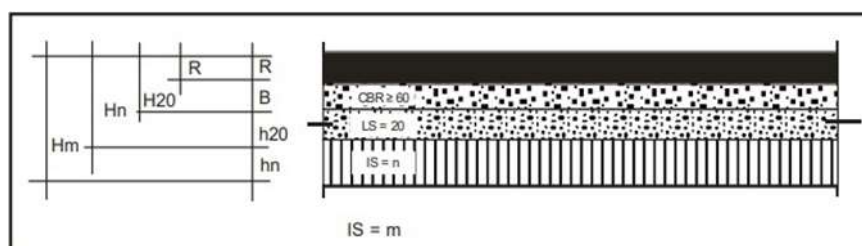
O fator de equivalência de operação (FEO) pode ser determinado com os ábacos da Figura 24.

Fator Climático Regional (FR): é um coeficiente que possibilita considerar as variações de unidade dos materiais do pavimento ocorridas em função de alterações climáticas que são incidentes durante as diversas estações do ano. O coeficiente regional climático final que deverá ser adotado é uma média ponderada dos diferentes coeficientes sazonais, levando-se em conta o espaço de tempo em que ocorrem. É indicado no manual do DNIT, que se adote um $FR = 1,0$. (DNIT, 2006).

7.3.1.1 ESPESSURA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO

Como já mencionado na seção 5.6 e de acordo com a Figura 18, o pavimento flexível tem sua estrutura composta por:

Figura 18 – Estrutura das Camadas Pavimento Flexível



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

- Revestimento: KR
- Base: KB
- Sub-base: KS
- Reforço: KRef

(Manual de Pavimentação do DNIT, 2006)

A segunda etapa do dimensionamento do pavimento flexível constitui em determinar a espessura das camadas, de acordo com a tabela 1. Assim, conhecido o número N, passa-se à estimativa das camadas de revestimento asfáltico, de base, sub-base e de reforço do subleito.

Tabela 1 – Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$10^6 \leq N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 \leq N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 \leq N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006)

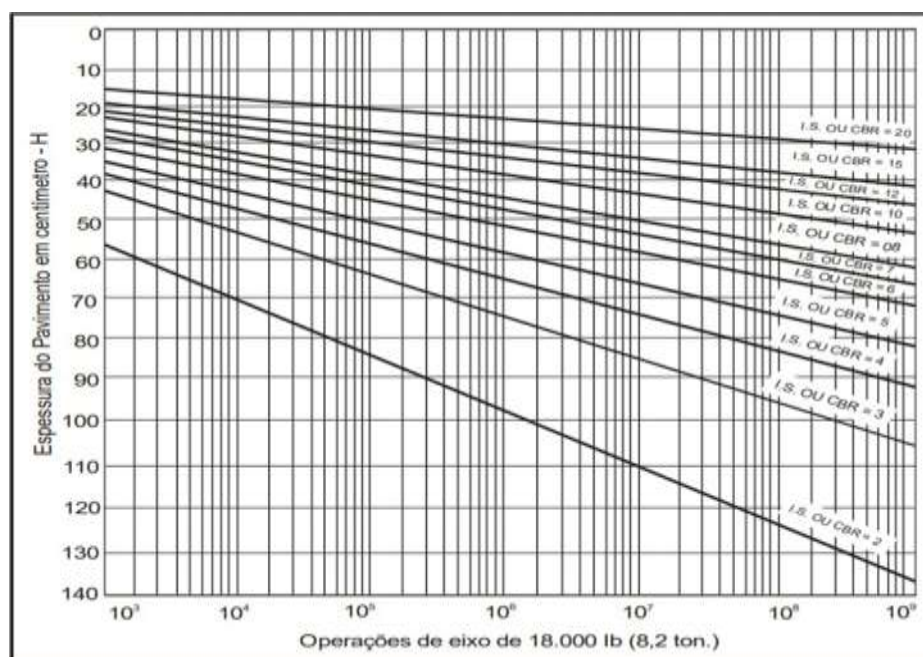
Com o valor de N e com o CBR ou IG do subleito e dos materiais disponíveis para as camadas, faz a determinação das espessuras Hm, Hn, H20 (Figura 19) e R pela Tabela 1 de espessura mínima de revestimento betuminoso. As espessuras de base (B), sub-base (h20) e reforço do subleito (hn), são obtidas pelas inequações:

$$RKr + BKb \geq H_{20} \quad (7)$$

$$RKr + BKb + h_{20}Ks \geq H_n$$

$$RKr + BKb + h_{20}Ks + h_nKref \geq H_m$$

Figura 19 – Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso



Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006)

Para o coeficiente K, presente nas inequações, é adotado valores indicados na tabela abaixo retirada do Manual de Pavimentação do DNIT na Tabela 2. Com isso, depois de resolvidas as inequações, verifica-se a adequabilidade das espessuras determinadas, arredondando, caso necessário, o resultado de forma a satisfazer as condições exigidas para um bom desempenho do pavimento.

Tabela 2 – Valores coeficiente K

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 de concreto 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: Manual de Pavimentação DNIT (2006)

7.3.2 DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO RÍGIDO

O manual de pavimentos Rígidos do DNIT (2005) apresenta dois métodos de dimensionamento de pavimento de concreto simples e um método de dimensionamento de pavimento de concreto estruturalmente armado, que são:

- Portland Cement Association (PCA), dos EUA, na versão de 1966, um método clássico que tem a seu favor a extensa experiência prática levada a efeito nas mais diferentes regiões no mundo, e que se fundamenta no Modelo de Fadiga de Concreto e no sistema de análise estrutural ligado ao caso das placas elásticas apoiadas em fundação contínua;
- Outro método PCA, porém do ano de 1984, que incorpora um modelo modificado de Fadiga, o modelo de Erosão, neste inseridas considerações sobre o Escalonamento e emprega análise estrutural por elementos Finitos;
- Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados, baseado na determinação das tensões atuantes e dos momentos fletores. O cálculo estrutural é conduzido no Estádio III, de acordo com as prescrições da Norma NBR 6118, considerando-se o emprego de telas soldadas produzidas com aço CA-60, para o concreto é considerado que sua resistência seja superior a 25 Mpa.

Para esse estudo, será adotado o método PCA 84. O principal parâmetro relativo às condições de suporte do solo é o coeficiente de recalque (k), o módulo de reação, que também pode ser chamado de módulo de Westergaard. Segundo o Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005), o coeficiente é determinado através de uma prova de carga, com suas instruções previstas na norma DNIT 055/2004-ME.

Na Tabela 3 abaixo estão relacionados o coeficiente de recalque (k) e o tipo de solo correspondente. Os valores oferecidos no quadro podem ser usados para avaliar o valor de k para cálculos precedentes a estudos mais aprofundados.

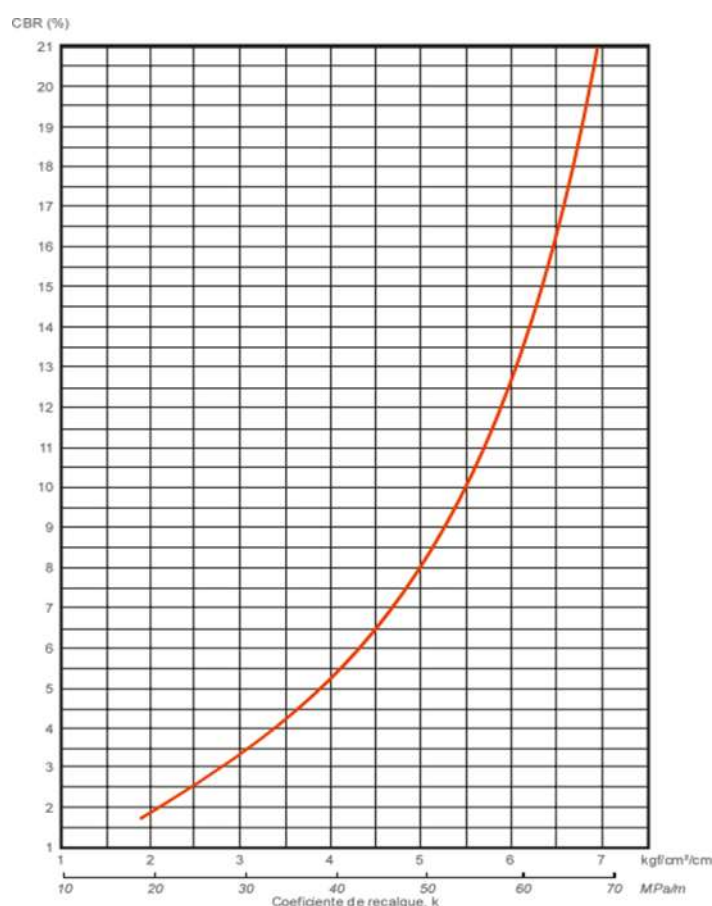
Tabela 3 – Coeficientes de recalque x Tipo de Solo

Tipo de Solo (AASHTMO M 145)	Coeficiente de Recalque	
	Mpa/m	kgf/cm ² /cm
A1-a	>100	>11,0
A1-b	70-165	7,0-16,5
A2-4, A2-5	80	>8,0
A2-6, A2-7	50-90	5,0-9,0
A3	55-90	5,0-9,0
A4	25-80	2,5-8,0
A5	<50	<5,0
A6	<60	<6,0
A7-5, A7-6	<60	<6,0

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

Para a determinação do coeficiente de recalque, é admitido o uso da correspondência entre o Índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito e os valores do coeficiente de recalque para o mesmo. A figura 20 apresenta a relação entre esses dois parâmetros:

Figura 20 – Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Coeficiente de Recalque (k) do subleito



Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

No dimensionamento da espessura das placas são considerados os fatores de segurança para as cargas (FSC), apresentados na Tabela 4. O fator de segurança está relacionado com a inclinação do veículo e o estado do pavimento.

Tabela 4 – Fatores de segurança de carga

Tipo de Pavimento	FSC
Para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1
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: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

7.3.2.1 PARÂMETROS INICIAIS DE DIMENSIONAMENTO – PCA/84

Para a realização do dimensionamento do pavimento rígido, é necessária a definição dos seguintes parâmetros e características do pavimento:

1. Escolha do tipo de acostamento (também em concreto, ou não);
2. Definir se irá adotar barra de transferências nas juntas;
3. A resistência do concreto à tração na flexão aos 28 dias;
4. Coeficiente de recalque (k) (Figuras 11, 18, 19, 20 e 21 do Manual de Pavimentos Rígidos – DNIT 2005).
5. Fator de segurança de carga (FSC); (Tabela 4 acima).
6. Tráfego esperado para cada nível de carga e de acordo com a vida de projeto;
7. Espessura aleatória, utilizada na tentativa para a espessura da placa de concreto.

7.3.2.2 PROCEDIMENTOS PARA DIMENSIONAR O PAVIMENTO – PCA/84

Algoritmo para dimensionamento:

1. Determinar a Tensão Equivalente nos Quadros 12 e 13, ou 14 e 15, para eixos simples, tandem duplos e tandem triplos;
2. Determinar nos Quadros 16 e 17, 18 e 19, 20 e 21 ou 22 e 23 os Fatores de Erosão, de acordo com o tipo de junta e o tipo de acostamento.
3. Calcular os Fatores de Fadiga para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos;
4. Determinam as Repetições Admissíveis pela Figura 27, com o Fator de Fadiga e as cargas por eixos;

5. Determinar as Repetições Admissíveis nos ábacos das Figuras 28 ou 29, com o Fator de Erosão e as cargas por eixo;
6. Dividir as repetições esperadas pelas respectivas repetições admissíveis determinando as porcentagens de resistência à fadiga e o dano por erosão;
7. Somar os elementos da coluna 5 e da coluna 6 do Quadro 11 (coluna 5: análise de fadiga; coluna 6: análise de erosão);
8. Verificar se as somas das colunas 5 e 6 ultrapassam 100%. Ambas as somas das colunas devem estar próximas de 100%. Caso apenas uma delas se aproxime de 100% e a outra 0%, tem-se uma placa antieconômica, superdimensionada. Onde, nesse caso, deve testar outra espessura para a placa.

Todas as figuras e tabelas mencionadas acima, serão anexadas ao final do documento.

7.4 DESEMPENHO

O desempenho de um pavimento rodoviário pode ser conceituado como o grau com que este pavimento atende as funções que lhe são impostas durante a sua vida de serviço. Este grau de serventia está intimamente relacionado à sua condição estrutural, aparecimento de defeitos ou patologias em sua constituição. Assim, pode-se concluir que o bom desempenho do pavimento está diretamente ligado à sua execução, os materiais que o compõem, o uso do pavimento e às ações de conservação que eventualmente sejam necessárias. (Gonçalves, 1999).

7.4.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL

Os principais problemas que incidem diretamente sobre os pavimentos flexíveis e que impede a conservação de rodovias, podem ser divididos em duas classificações: os defeitos superficiais e os de deformação em perfil. No quadro 5, são indicados os mais comuns para cada classificação (Manual de Pavimentação – DNIT, 2006).

Quadro 5 – Defeitos superficiais e de deformação em perfil Pavimento Flexível

Defeitos Superficiais		Deformações em Perfil
Desagregação (panelas)	Polimento dos Agregados	Trilha de roda
Mancha de água (umidade excessiva)	Desintegração	Afundamento
Bombeamento de água	Descolamento do ligante	Afundamento Localizado
Espelhamento	Falta de aderência pavimento	Refluimento Lateral
Desgaste	Estriamento	Escorregamento do Revestimento

<i>Fissuração/Fendilhamento</i>	Ondulação
	Corrugação
Fissura incipiente	Depressão
Trincas interligadas	Estufamento
Trinca nas trilhas de rodas	-
Trinca longitudinal na borda do pavimento	-
Trinca longitudinal no eixo do pavimento	-
Trinca isolada transversal de retração	-
Trinca em bloco (retração térmica)	-
Trinca de reflexão	-

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação DNIT (2006)

7.4.2 PAVIMENTO RÍGIDO

Os defeitos mais comuns nos pavimentos rígidos estão normalmente associados ao emprego de técnicas executivas e materiais inadequados, aliados à ausência de uma manutenção rotineira requerida por esse tipo de estrutura. Logo abaixo, no quadro 6, segundo a Norma DNIT 061/2004-TER, tem-se alguns dos problemas que são mais acometidos diretamente sobre os pavimentos rígidos:

Quadro 6 – Defeitos mais comuns em Pavimento Rígido

Alçamento de placas	Definido com o desnivelamento das placas nas juntas ou nas fissuras transversais
Fissura de canto	Fissura que intercepta as juntas a uma distância menor ou igual à metade do comprimento das bordas ou juntas do pavimento medindo-se a partir do seu canto. Esta fissura geralmente atinge toda a espessura da placa
Placa Dividida	É a placa que apresenta fissuras dividindo-a em quatro ou mais partes
Escalonamento ou degrau nas juntas	Ocorrência de deslocamentos verticais diferenciados e permanentes entre uma placa e outra, na região da junta
Falha na selagem das juntas	-
Desnível pavimento - acostamento	Degrau formado entre o acostamento e a borda do Pavimento
Fissuras Lineares	Fissuras que atingem toda a espessura da placa de concreto, dividindo-a em duas ou três partes

Fissuras superficiais e escamação	São fissuras capilares que ocorrem apenas na superfície a placa, tendo profundidade entre 6mm e 13mm, que apresentam a tendência de se interceptarem, formando ângulos de 120°.
Esborcimento ou quebra de canto	Quebras que aparecem nos cantos das placas, tendo forma de cunha, que ocorrem em uma distância não superior a 60cm do canto
Buracos	-

Fonte: Adaptado do NORMA DNIT 061/2004 – TER

7.5 MANUTENÇÃO

A manutenção de um pavimento rodoviário é composta por um conjunto de intervenções que são executadas com a finalidade de manter ou elevar as características gerais de desempenho do pavimento. Ao longo da vida útil de um pavimento, caso não sejam promovidas intervenções periódicas de manutenção, o pavimento fatalmente entrará em processo de colapso total de sua estrutura. Estas características gerais de desempenho são: segurança, conforto e economia do pavimento. (Benevides, 2011).

7.5.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL

Quanto às principais atividades típicas de manutenção do pavimento flexível, o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) dá as seguintes indicações no quadro 7:

Quadro 7 – Atividades de Manutenção do Pavimento Flexível

Conservação Preventiva Periódica	Consiste na limpeza de sarjetas, bueiros e meios-fios como a finalidade de desobstruir o caminho a ser percorrido pela água
Conservação Corretiva Rotineira	Consiste na selagem de trincas para impedir a penetração de água nas camadas inferiores do pavimento; recomposição de obras de drenagem e sinalizações horizontal e vertical
Remendos ou Reparações Localizadas	Operações corretivas processadas normalmente em nível de revestimento com o objetivo de corrigir manifestações de ruína específicas, bem definidas e de pequenas dimensões.

Recuperações Superficiais	Operações com a finalidade de corrigir falhas superficiais: fissuração, desagregação, perda de agregados, polimento das asperezas, exsudação, trilhas de roda.
Reforço Estrutural	Ser concebido quando as operações corretivas de menor vulto já não se fizerem suficientes para conter o processo evolutivo e inexorável de degradação do pavimento
Reconstrução	Processo, parcial ou total, empregado no caso de o pavimento já estar em estado muito avançado de degradação, sem a possibilidade de eficácia
Melhoramentos	Operações que acrescentam a rodovia características novas, ou modificam as características existentes, que acrescentam condições técnicas não existentes após a construção da rodovia, ou que alteram as características existentes na rodovia, levando a um nível superior de utilização

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação DNIT (2006).

7.5.2 PAVIMENTO RÍGIDO

A manutenção de um pavimento rígido tem por finalidade retardar o processo de deterioração de sua estrutura, assim como também pode consistir na atribuição de melhores características ao pavimento, onde visa atender sua solicitação de modo eficaz. O Manual de Pavimentos Rígidos – DNIT/2005 nos traz algumas recomendações de manutenção para o pavimento rígido.

- Resselagem de juntas;
- Selagem de Fissuras
- Recuperação de Juntas Esborcinadas;
- Recuperação de Desgaste superficial e Escamação;
- Reparos na Espessura da Placa;
- Conservação Preventiva Periódica
- Conservação Corretiva Rotineira
- Reparações Localizadas;
- Recuperações Superficiais;
- Reforço Estrutural;
- Reconstrução;
- Melhoramentos.

7.6 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

Os modelos de desempenho são estabelecidos para prever a velocidade de alteração dos valores dos parâmetros controladores das condições funcional e estrutural do pavimentos em função do tempo ou das solicitações de tráfego. (HAAS et al, 1994).

Segundo Gonçalves (1999), modelos de previsão de desempenho são funções que relacionam as características do pavimento e suas condições atuais (estruturais, funcionais e de degradação superficial) à evolução com o tempo dos defeitos de superfície ou do nível de serventia, sob dadas condições climáticas e de tráfego a que o pavimento está submetido.

O DNIT utiliza o programa HDM-4 para a análise de investimentos na rede rodoviária. Este programa pode analisar várias opções de intervenção em diversos cenários, indicando custos e época para a realização destas intervenções (Planejamento rodoviário – HDM-4, DNIT, 2010).

Como dados de entrada, o HDM-4 exige:

- As condições atuais dos pavimentos: extensões, estrutura, volume de tráfego, defeitos, irregularidades, etc.
- Dados da frota: tipo de veículos, peso, custos de aquisição e de manutenção, custo do combustível;
- Tipo de manutenção ou de restauração e custo;
- Cenário de investimento.

8 ANÁLISE COMPARATIVA

Neste tópico será apresentado um dos objetivos da pesquisa, onde serão mencionadas correlações efetuadas entre as informações coletadas e a aplicação de algumas teorias abordadas no capítulo 7.3 – Dimensionamento Pavimento Rodoviário. As características utilizadas para a comparação foram: Estrutura, Execução, Manutenção, Dimensionamento e Custos.

8.1 ESTRUTURA

Analizando que o pavimento flexível é composto por um número de camadas superior ao da solução rígida, aparentemente a estrutura do pavimento flexível acaba por se mostrar mais complexa em relação à estrutura do pavimento rígido. Levando isso em consideração, pode-se considerar essa afirmação uma verdade, pois o modo como a carga será absorvida pelo pavimento dependerá da interação entre as camadas que o constituem. Como o pavimento flexível tem maior heterogeneidade na composição de seu perfil, exige uma interação mais sofisticada entre suas camadas. Porém, essa

sofisticação na interação das camadas do pavimento não resulta em benefício direto à função da pavimentação, ela acaba por tornar a execução mais trabalhosa e predisposta à incidência de defeitos.

O pavimento rígido, apesar de sua relativa simplicidade estrutural, por ser menos heterogêneo e por ser constituído de material mais rigorosamente controlado, possibilita um maior controle da qualidade das camadas constituintes do mesmo, que atribui maior qualidade ao pavimento.

Outra questão que pode se observar na comparação estrutural é a espessura total do pavimento, que no caso do rígido é geralmente caracterizada por se bem mais delgada que a do flexível. Isto mostra que há uma maior capacidade de suporte à carga, oferecida pelo pavimento rígido, o que ocasiona menor exigência menor exigência quanto ao suporte da camada de fundação, o subleito.

8.2 EXECUÇÃO

Como já mencionado no tópico anterior, o pavimento flexível tende a ter maior espessura e é composto por número maior de camadas que o pavimento rígido. Em sua construção é necessária a realização de compactação em diversas etapas do processo construtivo, o que ocasiona uma maior quantidade de serviços a serem realizados, o que pode implicar no aumento dos custos. Já no pavimento rígido, por ter maior capacidade de suporte que o pavimento flexível, pode dispensar uma eventual camada de regularização do subleito, o que não é possível para o pavimento flexível, na maioria dos casos. Outro ponto relevante, é o fato de que o pavimento flexível possibilita a liberação do tráfego na via pavimentada em pouco tempo após sua implantação, o que se torna totalmente benéfico.

8.3 MANUTENÇÃO

Em ambos tipos de pavimento, o aparecimento de defeitos está ligado à má execução, excesso de carga ou a baixa qualidade dos materiais empregados, porém, pode se observar que no geral a vida útil do pavimento rígido é bem maior que a vida útil do pavimento flexível. Entretanto, apesar de a vida útil da solução rígida ser bem maior que a da solução flexível, o número de intervenções nessa é bem menor.

Já no pavimento flexível a necessidade de manutenção é mais frequente, mas estas constituem ações de baixo valor. No pavimento rígido, a exigência de realização de ações de manutenção é menos frequente, porém o valor mais significativo. Uma vantagem do pavimento flexível em relação ao rígido,

é que o flexível possibilita pouco incômodo aos usuários. Apesar de as ações de manutenção serem ações frequentes, o pavimento flexível possibilita pouco incômodo aos usuários.

8.4 DIMENSIONAMENTO

Por serem de naturezas distintas, os pavimentos mencionados possuem dimensionamentos diferentes. Nesse tópico, será utilizado o trecho do estudo de caso para melhor compreensão desse estudo, onde será feita uma duplicação e reconstrução da GO-210. O trecho possui extensão de 6,5 Km, onde o mesmo será duplicado (duas faixas de rodagem em cada sentido), com 3,50 m de largura, com acostamento de 0,60m, onde será trocado o pavimento flexível pelo pavimento rígido. O dimensionamento já mencionado no tópico 6.3.2.2 será de PCA/84 para os pavimentos rígidos e método DNER para os pavimentos flexíveis.

8.4.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL – MÉTODO DNER

No ano de 2023, a Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOIN- FRA) trouxe um estudo de muita relevância que foi realizado em toda a extensão de 27,129km, da GO-210, do KM 373,887 ao 401,016. Esse estudo irá fornecer alguns dados importantes para essa simulação de dimensionamento. Logo abaixo os dados foram organizados em um quadro (Quadro 8) para melhor visualização.

Quadro 8 – Informações para dimensionamento do Pavimento Flexível

Volume médio de veículos/dia	3744
Período	20 anos
Fator Veículo	8,44

Fonte: Agência de Infraestrutura e Transportes (2023)

8.4.1.1 NÚMERO N

Para se obter o número N, é preciso delimitar o valor do volume total final através da multiplicação do volume médio de veículos por dia pelo período de duração do projeto, pela equação 2.

$$Vt = 365 \times Vm \times P$$

$$Vt = 365 \times 3744 \times 20$$

$$Vt = 27.331.200 \text{ veículos}$$

O número N é dado pela equação 4:

$$N = VtxFV$$

$$N = 27331200 \times 8,44$$

$$N \cong 2,31 \times 10^7$$

8.4.1.2 ESPESSURA DO REVESTIMENTO BETUMINOSO:

De acordo com a tabela 6 apresentada anteriormente, o $N > 10^7$ e $\leq 5 \times 10^7$ possui 10,0 cm de espessura.

Como infelizmente não obtivemos os dados reais obtidos na obra, vamos simular dados para o CBR de cada camada do pavimento para determinar a sua espessura (Quadro 9), com o auxílio do trabalho semelhante dos autores SILVA, A e SILVA, M:

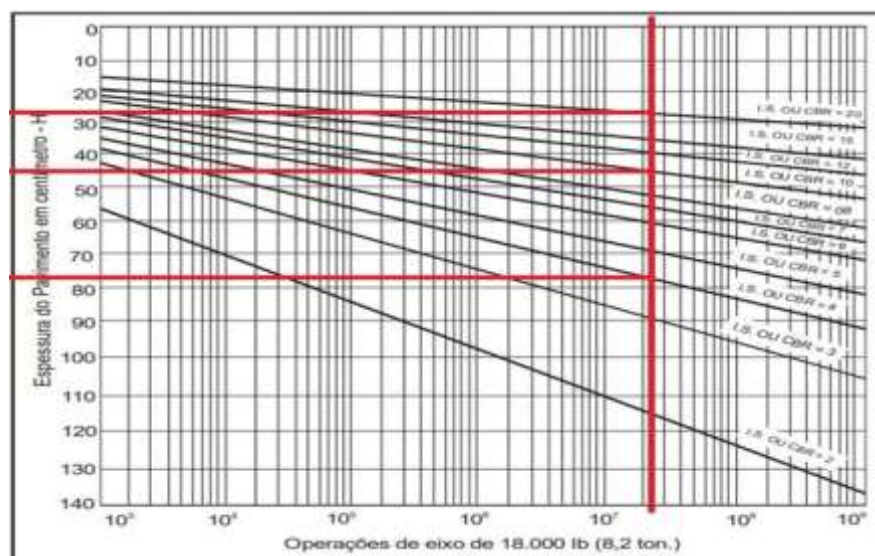
Quadro 9 – CBR de cada camada

Subleito	CBR=4
Reforço Subleito	CBR=10
Sub-base	CBR=25
Base	CBR=80

Fonte: SILVA, A e SILVA, M (2024)

Utilizando o ábaco da figura 21 e o valor do número N, para se obter os valores das camadas de base (B), sub-base (H20) e subleito (Hn), pode-se desenhar uma linha vertical no valor de N até cruzar com o valor CBR da camada a ser determinada, onde a linha horizontal determinará o valor da espessura.

Figura 21 – Ábaco de espessura das camadas



Fonte: Adaptado DNIT, 2006.

Onde obtivemos:

- Revestimento = R = 10 cm
- Base = H20 = 28 cm
- Sub-base = Hn = 44 cm
- Reforço do Subleito= Hm = 80 cm

8.4.1.3 DETERMINAR O VALOR DE K

O valor de K é determinado pela Tabela 2, onde se faz a multiplicação do coeficiente de equivalência estrutura (K), pela espessura da camada. Como o revestimento escolhido para o pavimento é de concreto betuminoso, o valor de K é 2,0. Já as outras camadas, não se tem o conhecimento do material, então foi adotado o K igual a 1,0, considerando o material como granular, pois, de acordo com o manual é o mais usual a fazer na situação de não conhecer os materiais usados.

Logo, o valor para cada camada é:

- Kr (Revestimento) = 2,0
- Kb (Base) = 1,0
- Ks (Sub-base) = 1,0
- Kref (Reforço subleito) = 1,0

Utilizando a equação 7, temos as espessuras de cada camada:

- Base

$$RKr + BKb \geq H_{20}$$

$$10 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 28$$

$$B \geq 8 \text{ cm}$$

Temos para Base o valor de 8 cm, porém para o DNIT, a espessura mínima permitida para base é de 15 cm, portanto B = 15 cm.

- Sub-base

$$RKr + BKb + h_{20}Ks \geq H_n$$

$$10 \times 2,0 + 15 \times 1,0 + H_{20} \cdot 1,0 \geq 44$$

$$35 + H_{20} \cdot 1,0 \geq 44$$

$$H_{20} \geq 9 \text{ cm}$$

Temos para Sub-Base o valor de 9 cm, porém para o DNIT, a espessura mínima permitida para sub-base é de 15 cm, portanto $H_{20} = 15 \text{ cm}$.

- Reforço Subleito

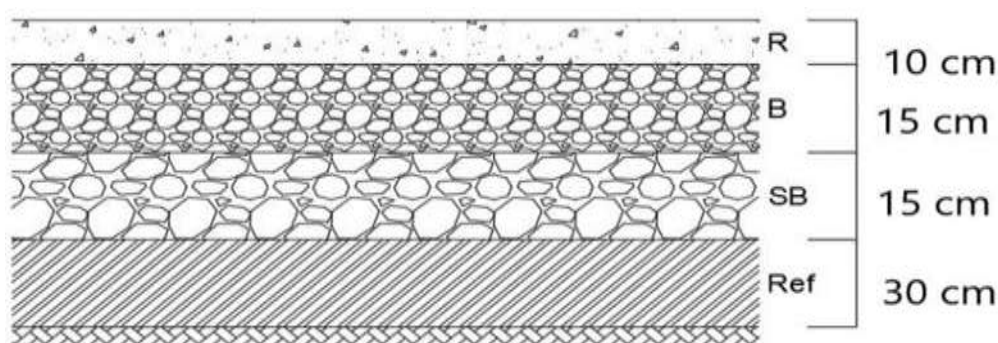
$$RKr + BKb + h_{20}Ks + hnK_{ref} \geq Hm$$

$$10 \times 2,0 + 15 \times 1,0 + 15 \times 1,0 + hn \times 1,0 \geq 80$$

$$50 + hn \times 1,0 \geq 80 \quad hn \geq 30 \text{ cm}$$

A Figura 22 ilustra o resultado do dimensionamento de simulação para o pavimento flexível.

Figura 22 -Resultado do dimensionamento do pavimento Flexível



Fonte: Autora, 2024.

8.5 PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO PCA/84

- Informações iniciais para simulação, detalhadamente explicada no item 5.7 – Dimensionamento Pavimento Rígido:
 1. Acostamento em concreto (60 cm)
 2. Terá barra de transferências nas juntas: sim
 3. A resistência do concreto à tração na flexão aos 28 dias: 4,5 MPa
 4. Coeficiente de recalque (k) (figuras 11, 18, 19, 20 e 21 do Manual de Pavimentos Rígidos – DNIT 2005 (Anexo I): 125 Mpa/m
 5. Fator de segurança de carga (FSC) (Tabela 4): 1,2
 6. Tráfego esperado para cada nível de carga e de acordo com a vida de projeto: 20 anos
 7. Espessura para primeira tentativa: 20 cm.
- Determinação da Tensão Equivalente para eixos simples, tandem duplos e tandem triplos: (Quadro 14 e 15 – Anexo II)

Eixos Simples: 1,21

Tandem Duplos: 1,01

Tandem Triplos: 0,88

- Determinar os Fatores de Erosão: (Quadro 22 – Anexo II) Eixos Simples: 2,32

Tandem Duplos: 2,31

Tandem Triplos: 2,32

Cumprindo todos os passos da Seção 6.3.2, chegamos ao seguinte resultado:

Tabela 5 – Cálculo da Espessura de Pavimento de Concreto

Cálculo de Eixos Totais por Classe de Carga (20 anos)						
Cargas por Eixo (tf)	Carga por Eixo x Fsc (tf)	Nº de Repetições Previs-tas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSÃO	
			Nº de Repe-tições Ad-missíveis	Consumo de Fadiga (%)	Nº de Repe-tições Ad-missíveis	Consumo de Fadiga (%)
1	2	3	4	5	6	7
Eixos Simples		(8) Tensão Equivalente	1,21	(10) Fator de Erosão	2,32	
		(9) Fator de Fadiga	0,252083333			
6 ao 7	8,4	290.488	60.650	4,789579555	10.700	27,14841121
7 ao 8	9,6	238.118	70.735	3,366339153	20.950	11,36601432
8 ao 9	10,8	242.715	81.550	2,976272226	48.250	5,030362694
9 ao 10	12	310.404	85.763	3,619323018	69.878	4,442084776
Eixos Tandem Duplos		(11) Tensão Equivalente	1,01	(12) Fator de Erosão	2,31	
		(13) Fator de Fadiga	0,210416667			
14 ao 15	18	12.243	200.450	0,061077575	20.360	0,60132613
15 ao 16	19,2	12.243	303.450	0,040346021	31.100	0,393665595
16 ao 17	20,4	17.808	315.600	0,056425856	39.980	0,445422711
17 ao 18	21,6	30.051	390.512	0,076952821	45.720	0,657283465
Eixos Tandem Triplos		(14) Tensão Equivalente	0,88	(15) Fator de Erosão	2,32	
		(16) Fator de Fadiga	0,183333333			
24 ao 26	10,4	17.808	650.200	0,027388496	234.120	0,076063557
26 ao 28	11,2	12.243	670.400	0,018262232	352.615	0,034720588
28 ao 30	12	18.921	690.985	0,027382649	501.094	0,037759382
				15,0593496		50,23311443
				TOTAL	65,29246403	%

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentos Rígidos (2005) pela autora, 2024.

De acordo com os resultados, O consumo total de fadiga resultou 65,29% onde é menor que 100%.

Por isso, a espessura de 20 cm cumpre com a análise de fadiga.

8.6 CUSTOS

8.6.1 SICRO – SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS

SICRO é uma ferramenta criada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, com o objetivo de definir e mensurar custos referenciais contemplando os valores de insumos e serviços de obras de infraestrutura de transportes de modo pormenorizado. Esse sistema possibilita estabelecer detalhadamente os custos de referência para obras de infraestrutura. Atualmente, a denominação SICRO é a terceira versão do sistema, implantada em 2017 onde sucedeu ao Sicro2 (IPR, 2021).

Após o dimensionamento dos pavimentos, foram elaborados os orçamentos com base nas tabelas SICRO do DNIT de julho de 2024, referente ao estado do Goiás. Para se ter uma comparação mais efetiva, será considerado uma extensão de 1 km, com duas faixas de 3,5m cada uma. É importante destacar que o orçamento inclui apenas a execução das camadas dos pavimentos, sem considerar custos de serviços preliminares, terraplanagem, sinalização e outras.

Na tabela 6 apresentam-se os serviços utilizados, juntamente com seus quantitativos e custo, para a execução dos pavimentos flexíveis.

Tabela 6 – Quantitativo de serviços de execução do pavimento flexível

Código	Descrição	Und.	Qnt.	Custo	Custo Total
4816000	ESCAVAÇÃO MANUAL DE TUNNEL LINEAR EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA	m³	1.613,56	441,13	711789,72
5503041	COMPACTAÇÃO DE ATERROS A 100% PI	m³	759,33	8,72	6621,3576
4011276	BASE OU SUB-BASE DE BGS	m³	1138,985	250,44	285247,34
4011352	IMPRIMAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLTICA	m²	3556,615	0,39	1387,0797
4011353	PINTURA DE LIGAÇÃO	m²	7113,229	0,27	1920,5718
4011463	CONCRETO ASFÁLTICO - FAIXA C - AREIA E BRITA COMERCIAIS	T	1066,985	213,82	228142,68
5915407	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE AGREGADOS	T	5329,5	2,74	14602,83
5901638	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE	Tkm	138022,5	0,71	97996,008
5914622	TRANSPORTE DE MATERIAL BETUMINOSO	Tkm	35638,96	1,69	60229,839
				TOTAL	1407937,4

Fonte: Autora, 2024.

Na tabela 7 apresenta-se o quantitativo e custos dos serviços de reabilitação do pavimento flexível para que o mesmo obtenha vida útil de 20 anos.

Tabela 7 – Quantitativo de serviços de execução da reabilitação do pavimento flexível

Código	Descrição	Und.	Qnt.	Custo	Custo Total
4915705	FRESAGEM DESCONTÍNUA DE REVESTIMENTO - 5 CM	m³	187,9313	120,2	22589,342
4915667	REMOÇÃO MECANIZADA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO	m³	4,744275	11,87	56,314542
4915670	REMOÇÃO MECANIZADA DE CAMADA GRANULAR	m³	11,38931	182,08	2073,7661
4011276	BASE OU SUB-BASE DE BGS	m³	83,38931	250,44	20884,02
4011352	IMPRIMAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLTICA	m²	37,96565	0,39	14,806603
4011353	PINTURA DE LIGAÇÃO	m²	3834,58	0,27	1035,3366
4011463	CONCRETO ASFÁLTICO - FAIXA C - AREIA E BRITA COMERCIAIS	T	462,4275	213,82	98876,244
5914352	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE FRESAGEM	T	902,0687	4,4	3969,1023
5914675	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE MATERIAL DEMOLIDO	T	36,44275	2,91	106,0484
5915407	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE AGREGADOS	T	183,458	2,74	502,67496
5901638	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE	Tkm	40251,44	0,71	28578,524
5914622	TRANSPORTE DE MATERIAL BETUMINOSO	Tkm	14637,53	1,69	24737,433
				TOTAL	203423,61

Fonte: Autora, 2024.

Na tabela 8 apresentam-se os serviços utilizados, juntamente com seus quantitativos e custo, para a execução dos pavimentos rígidos.

Tabela 8 – Quantitativo de serviços de execução do pavimento rígido

Código	Descrição	Und.	Qnt.	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)
4816000	ESCAVAÇÃO MANUAL DE TUNNEL LINER EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA	m³	1209,248	441,13	533435,61
5503041	COMPACTAÇÃO DE ATERROS A 100% PI	m³	911,3244	8,72	7946,749
M0769	LONA PLÁSTICA	m²	4556,615	1,52	6926,054
4011214	SUB-BASE DE CCR	m³	455,6603	319,12	145410,32
4011520	PAVIMENTO DE CONCRETO - CCP	m³	973,5878	571,38	556288,59
3106119	FORMAS DE TÁBUAS DE PINHO	m²	487,4198	149,25	72747,412
4011537	SERRAGEM DE JUNTAS	m	995,1031	19,36	19265,195
407818	ARMAÇÃO EM AÇO CA-25	kg	5807,962	11,66	67720,835
407819	ARMAÇÃO EM AÇO CA-50	kg	6779,145	12,04	81620,906
408067	TELA DE AÇO ELETROSSOLDADA	kg	1224,553	10,66	13053,74

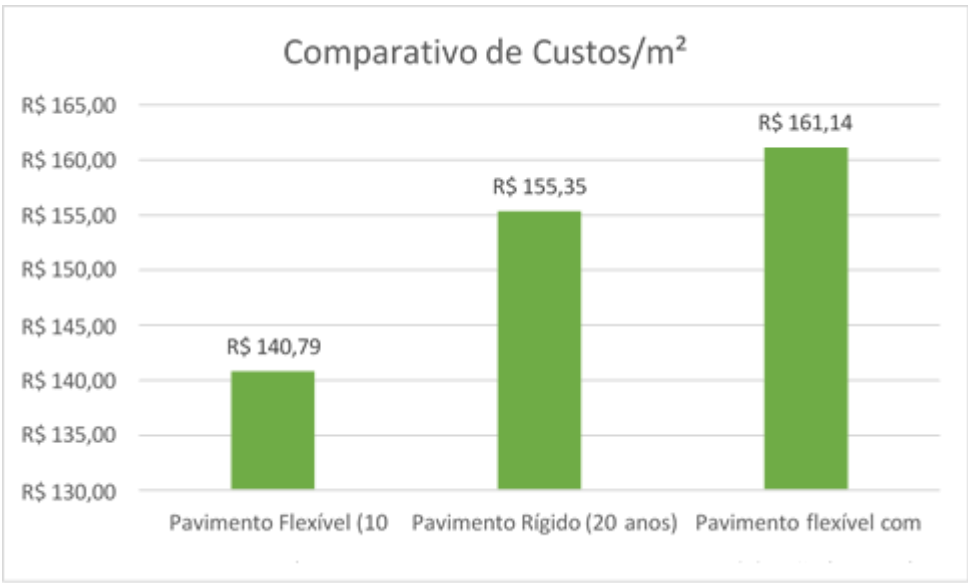
4011353	PINTURA DE LIGAÇÃO	m2	4556,615	0,27	1230,2859
5915407	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE AGREGADOS	T	2116,183	2,74	5798,342
5914315	TRANSPORTE CONCRETO COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 7 M	Tkm	15091,47	1,09	16449,702
5914569	TRANSPORTE CAMINHÃO BETONEIRA	Tkm	32245,23	0,63	20314,494
5915012	TRANSPORTE COM CAMINHAO CARRO-CERIA	Tkm	404,2328	2,09	844,8466
5914622	TRANSPORTE DE MATERIAL BETUMINOSO	Tkm	2602,427	1,69	4398,1024
				TOTAL	1553451,2

Fonte: Autora, 2024.

Os custos totais de implantação do pavimento flexível e do rígido são, respectivamente, R\$ 1.407.937,40 e R\$ 1.553.451,20. O pavimento flexível com a reabilitação passa para R\$ 1.611.361,01. Só considerando a vida útil do pavimento rígido, pode se ter uma economia de R\$ 57.909,81, para esse trecho de 1km.

Para melhor compreensão, foi feito um gráfico (Gráfico 2) com o comparativo dos custos por m².

Gráfico 2 – Comparativo de Custos



Fonte: Autora, 2024.

8.7 RESUMO GERAL

Foi feita uma tabela de resumo comparativo dos dois pavimentos, para se ter uma melhor visibilidade das diferenças. (Quadro 10)

Quadro 10: Principais Características dos Tipos de Pavimentos Comparados.

Parâmetro	Pavimento Flexível	Pavimento Rígido
Estrutura	Mais espessas (requer escavação e movimento de terra) e camadas múltiplas	Estruturas mais delgadas
Subleito	Exige maior suporte	Não exige suporte
Interação com agentes químicos	Fortemente afetado pelos produtos químicos (óleos, graxas, combustíveis).	Resiste a ataques químicos (óleos, graxas, combustíveis)
Manutenção	Necessário que faça várias manutenções e recuperações	Pequena necessidade de manutenção e conservação
Custos	Baixo	Alto
Vida útil	Vida útil máxima de 10 anos (com manutenção)	Vida útil mínima de 20 anos
Aderência	Melhor aderência das demarcações viárias, devido a textura rugosa e alta temperatura de aplicação (30 vezes mais durável).	Falta de aderência das demarcações viárias, devido ao baixo índice de porosidade.
Segurança	Escorregadio quando molhado	Resiste melhor a derrapagem
Absorção de Luz	Absorve mais	Absorve menos
Dimensionamento	Método antigo e experimental	Método sofisticado
Qualidade materiais	Menor possibilidade de controle	Possibilita maior controle
Resistência	Degrada mais facilmente	Resiste bem

Fonte: AUTORA, 2024.

9 BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE RIO VERDE

É uma cidade polo regional (Figura 23) com uma zona de influência em 31 municípios da região e cerca de 1 milhão de habitantes. Está localizada na região sudoeste de Goiás e possui 247 mil habitantes de acordo com IBGE 2021. Sua localização central permite acesso aos principais mercados consumidores do país e as principais rotas de exportação. Rio Verde é a sede da maior plataforma de carga e descarga da ferrovia Norte e Sul. O agronegócio transformou a cidade de Rio Verde como a maior exportadora de Goiás, além de possuir o segundo maior PIB agropecuário do País. (Rio Verde GO, 2021).

Figura 23 – Localização Rio Verde



Fonte: Rio Verde GO (2021)

Todo o progresso e força econômica fez com que grandes empresas quisessem estar em Rio Verde, como exemplo, a unidade de BRF (antiga Brasil FOODS), maior produtor de proteína animal do Brasil. Rio Verde também é palco da TECNOSHOW COMIGO, uma das maiores feiras de agronegócio do Brasil, mais de 500 expositores e 100 mil visitantes. Pode-se analisar mais detalhes nas imagens 24, 25 e 26. (Rio Verde GO, 2021)

Figura 24 – Número de Expositores por Ano



Fonte: (Rio Verde GO, 2021)

Figura 25 – Número de Visitantes por Ano



Fonte: (Rio Verde GO, 2021)

Figura 26 – TECNOSHOW COMIGO 2019



Fonte: (Rio Verde GO, 2021)

Essa cidade também possui um grande destaque na parte da qualificação da mão de obra, oferecendo para toda região cursos superiores nas áreas de negócios, tecnologias, medicina, odontologia, agronomia e diversas engenharias. Ainda conta com qualificação técnica para indústria, comércio e serviços gerais. Nos últimos anos, o município vem se destacando na atração de investimentos e geração de empregos, principalmente após a criação do Programa de Desenvolvimento Econômico de Rio Verde (PEODEN-RV) em 2018 (Rio Verde Go, 2021).

9.1 ESCOLHA DA PRIMEIRA GO EM PAVIMENTO RÍGIDO

Essa tecnologia, comumente adotada em países como Estados Unidos, na Europa e na China, proporciona maior resistência e vida útil prolongada à estrada. A modernização da infraestrutura viária é de grande importância para a região, especialmente devido à sua localização estratégica e a alta produtividade agrícola. A GO-210 é uma rodovia estadual de mão única que desempenha um papel fundamental no transporte de cargas pesadas, facilitando o tráfego seguro e rápido de produtos agrícolas em uma área reconhecida nacionalmente por sua eficiência na produção de grãos. Além disso, a utilização do pavimento rígido representa uma economia significativa de recursos públicos, tanto durante a construção quanto na manutenção da rodovia (Jornal Opção, 2024).

De acordo com Goinfra (2023), um estudo técnico-econômico foi conduzido para avaliar opções viáveis para obras viárias em Rio Verde. Com o aumento nos preços dos materiais betuminosos, tornou-se mais vantajoso optar por pavimento de concreto em vez de asfalto, especificamente para este caso. Essa decisão foi baseada em experiências anteriores em outros estados do Brasil.

A duplicação desse trecho da rodovia 210 (Figura 27) em Rio Verde beneficiará não apenas o setor agrícola, devido ao intenso tráfego de caminhões transportando grãos, mas também impulsionará outros setores de economia. A escolha do tipo de pavimento depende das características locais e do volume de tráfego, visando sempre a melhor relação custo-benefício e durabilidade para cada situação específica. (Goinfra, 2023).

Figura 27 – Trecho de 6,5km que será duplicado



Fonte: VOTORANTIM CIMENTOS, 2024.

O perímetro urbano da GO 210, será substituído nos dois sentidos por via duplicada, nesse trecho de 6,5 quilômetros. O material asfáltico será aproveitado com o uso de placas de concreto para a composição da nova pista. O tipo de pavimento rígido utilizado será o Whitetopping, com placa de 20 cm de espessura, com ligações de barras de transferência entre uma placa e outra, sendo que cada placa tem 3,5 metros de extensão. (Goinfra, 2023).

10 CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a realizar uma análise comparativa entre pavimentos flexíveis e rígidos, utilizando como estudo de caso a reconstrução e duplicação da GO-210, em Rio Verde. Em contrapartida, no seguimento do estudo, a obra da GO-210 foi suspensa por alguns meses retornando somente no final da pesquisa, impossibilitando a coleta dos dados mediante o que era previsto no início do estudo. Porém, não houve empecilhos para alcançar os resultados que foram propostos a serem estudados.

Com base nas informações levantadas e analisadas no capítulo 7, pode-se concluir que:

Considerando a estrutura dos pavimentos e principalmente as características do subleito de cada um, para um solo com menor resistência, recomenda-se o uso de pavimentação rígida, pois este pavimento não requer grande capacidade do suporte do subleito, já o pavimento flexível será melhor aproveitado para solos de alta resistência, pois assim não haveria a necessidade de grandes serviços de melhoramento do subleito e também a exigência da camada de reforço e/ou sub-base, ou pelo menos a espessura dessas camadas poderiam ser reduzidas, diminuindo assim ainda mais o custo do pavimento flexível.

Os pavimentos estudados possuem métodos de dimensionamento bem diferentes. Considerando que para efeito de comparação, apenas os dois métodos discutidos na revisão, o método para pavimento rígido é mais preciso e confiável. O método PCA/84 possui essas considerações porque se baseia em uma teoria de elementos finitos mais complexa e popular, já o método empírico por sua vez, é baseado em observações experimentais que foram realizadas no exterior. Com isso, a complexidade de qualquer método utilizado para determinar a dimensão do pavimento não deve ser considerado como fator decisivo na escolha do tipo de pavimento a ser utilizado.

O pavimento que demonstra mais desgaste de uso é o flexível, onde está sujeita a marcas de rodas por conta da sua distribuição de tensões e também sua baixa resistência. Logo, para locais com alto movimento é bom ser evitado o uso dele, pois a maior parte da abrasão visual ocorre devido ao

excesso de carga na superfície da estrada, enquanto que nos pavimentos rígidos o desgaste vem por conta de erros na execução do projeto. Por isso, a demanda de manutenção dos pavimentos rígidos é menor que dos pavimentos flexível, tornando essa opção mais vantajosa.

Já em relação aos fatores econômicos, aparentemente, os pavimentos flexíveis possuem uma economia grande quanto ao custo, isso fez com que a popularidade das estradas e rodovias no Brasil hoje fosse bem grande. De acordo com o item 7.6, o custo do metro quadrado do pavimento flexível em 10 anos seria 9,31% mais em conta que o pavimento rígido, porém se considerar a manutenção para deixar o pavimento flexível no estado satisfatório de comparação com o rígido, esse valor daria uma diferença de 3,29% a favor do pavimento rígido.

Por mais que os pavimentos rígidos podem ser caros na fase inicial de construção, a análise de custos quando se considera ações futuras de proteção e de reparos de estruturas dos pavimentos, a tendência observada é que soluções rígidas são mais baratas que pavimentos flexíveis.

Com isso, com todo o estudo feito até aqui, lembrando que algumas considerações não foram mencionadas como a questão de que tem a necessidade do fechamentos das vias para a manutenção do pavimento rígido de concreto de cimento Portland, o que para vias muito intensas é algo que pode atrapalhar muito o fluxo e que para se ter um pavimento rígido de qualidade, é necessário ter um alto controle no seu projeto e na sua execução, mesmo com essas intempéries, pode-se concluir que a longo prazo, a escolha do Pavimento Rígido é a escolha mais viável por ter um melhor custo benefício em vários aspectos já mencionados.

11 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Para se ter um maior aprofundamento no estudo de vias de pavimento rígido e aplicando também o uso de materiais reciclados, sugere-se como temas para pesquisas futuras:

- Estudo comparativo entre pavimentos de concreto de cimento Portland, Concreto Asfáltico e Blocos Intertravados para Vias Urbanas;
- Estudo sobre a reciclagem de Pavimento Asfáltico;

12 REFERÊNCIAS

- ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. Curso de Tecnologia de Pavimento de Concreto. Módulo 2 – Projeto e Dimensionamento dos Pavimentos. Disponível em: Acesso em: 20 agosto 2024.
- ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. Pavimento de Concreto. Disponível em: Acesso em: 20 agosto 2024.
- ABNT. NBR 14756: Materiais Betuminosos – Determinação da Viscosidade Cinemática. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ABNT. NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ABNT. Tudo que você precisa saber sobre as normas ABNT 2023. Disponível em: https://www.normasabnt.org/normas-abnt-2023/#google_vignette. Acesso em: dezembro 2024.
- ABNT. NBR 10520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- ABNT. NBR 15235: Materiais Asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ABNT. NBR 6576: Materiais Asfálticos – Determinação da penetração. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ABNT. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 4124:standard test methods for separation of asphalt into four fractions. USA, 2001.
- ANTAS, Paulo Mendes et al. ESTRADA: PROJETO GEOMÉTRICO E DE TERRA-PLANAGEM. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 261 p.
- ARAÚJO, M. A.; SANTOS, M. J. P.; PINHEIRO, H. P.; CRUZ, Z. V.; ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS DE PAVIMENTAÇÃO – PAVIMENTO RÍGIDO (CONCRETO) X FLEXÍVEL (ASFALTO). Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 01, edição 11, vol. 10, pp. 187-196, novembro de 2016, ISSN: 2448-0959.
- BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BALBO, J. T. Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração. São Paulo, Oficina de Textos, 2007.
- BALBO, J. T. Pavimentos de concreto. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- BALBO, José Tadeu. Pavimentos de Concreto. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.
- BATTAGIN, A. F.; BATTAGIN, I. L. S. O cimento Portland no Brasil. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, p. 761-790.

BENEVIDES, S. A. S. Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos: Empírico do DNER e da Resiliência da COPPE/UFRJ em Rodovias do Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.

BENEVIDES, S. A. S. Gestão de Pavimentos. Notas de Aula – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

BENEVIDES, S. A. S. Pavimento de Concreto. Notas de Aula – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. D., CERATTI, J. A. P., & SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrópolis, ABEDA, 2008.

BEZERRA, F. S. C. Avaliação dos métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos, intertravados e com concreto: previsões de comportamento. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

BISWAS, S.; SHUBHAM, K. A systematic review on the performance of reclaimed asphalt pavement (RAP) as a sustainable material in the construction of rigid pavements: from the current situation to the future perspective.

Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Jamshedpur, Índia, 2023.

CIPRIANO, L. F.; LIMA, R. C. S.; SILVESTRE, K. C. C.; ESTUDO COMPARATIVO DE PAVIMENTO RÍGIDO X PAVIMENTO FLEXÍVEL ATRAVÉS DA ANÁLISE

LISE DE SOLO NA PB 008. Revista ActaScientia - ISSN2596 - 2078, Volume 3- Número 2 - Jul./Dez. de 2021.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. Infraestrutura: o que é e quais os seus desafios e prioridades. Brasília: CNI, 2022. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/infraestrutura/>. Acesso: 22setembro 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2017: relatório gerencial. Brasília, 2017. 406 p.

COSTA, F. T. G. C.; SILVA, B. A.; RECAPEAMENTO ASFÁLTICO SOBRE PAVIMENTO RÍGIDO – ESTUDO DE CASO DA RESTAURAÇÃO DA RODOVIA

BR – 101/PE. Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia de Fortificação e Construção. Rio de Janeiro, 2014.

COSTA, J. S.; ANÁLISE COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS PARA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS: PAVIMENTO FLEXÍVEL X PAVIMENTO RÍGIDO

GIDO. Trabalho Conclusão de Curso – Curso Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará – Fortaleza, 2013.

CRISTIANO, B. R.; MAIA, R. M. Pavimentos Rígidos Em Rodovias. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Tecnológico de Educação e Tecnologia, Caratinga, 2014.

DEMETRIO, C. V. A.; MANUEL, C. S. J.; ANALISIS COMPARATIVO PARA EL DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA VIAL Y DRENAJE PLUVIAL PARA LA CALLE TARQUI, UBICADA EN LA CIUDADE DE PORTOVIEJO ENTRE LAS CALLES MEDARDO CEVALLOS Y 22 DE NOVIEMBRE; ENTRE PAVIMENTO

RÍGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE. Universidad Laica Eloy Alfaro – Manta – Manabí – Ecuador – 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

DNIT – IPR 714. Manual de Pavimentos Rígidos. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

DNIT – IPR 719. Manual de Pavimentação. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.

DER/PR. DER/PR ES-P 21/05: Pavimentação: concreto asfáltico usinado a quente. Curitiba, p. 22. 2005.

DNER. DNER-ME 035/98. Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro: DNER, 1998.

DNER. DNER-ME 054/97. Equivalente de areia. Rio de Janeiro: DNER, 1997.

DNER. NORMA DNIT 055/2004 – ME. Pavimento rígido - Prova de carga estática para determinação do coeficiente de recalque de subleito e sub-base em projeto e avaliação de pavimentos - Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

DNER. NORMA DNIT 150/2010-ES. Pavimentação Asfáltica – Lama Asfáltica – Especificações de Serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2010.

DNER.DNER-EM 367/97. Material de enchimento para misturas betumíneas. Rio de Janeiro: DNER, 1997.

DNER.DNER-ES 386/99. Pavimentação – pré-misturado a quente com asfalto polímero - camada porosa de atrito. Rio de Janeiro: DNER, 1999.

DNER.DNER-ME 089/94. Agregado – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNIT. NORMA DNIT 031/2006 – ES. Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificações de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

DNIT. NORMA DNIT 032/2005 – ES. Pavimentos flexíveis – Areia-Asfalto a quente – Especificações de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2005.

DNIT. NORMA DNIT 061/2004-TER. Pavimento Rígido – Defeitos Terminologia. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

DNIT. NORMA DNIT 172/2016 – ME. Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma com crivos – Método de ensaio. Brasília: IPR, 2016.

DNIT. NORMA DNIT 424/2020 – ME. Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma com crivos – Método de ensaio. Brasília: IPR, 2020.

ELIZABETH, A. V.; ANALISIS COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE EM LA VÍA URBANIZACIÓN EL PINAR. Centro Poblado de Mariam, Independencia, Huaraz – 2018.

FILHO, A. L. S. Estudo Comparativo de Viabilidade Técnica e Econômica Entre Pavimentos Rígido e Flexível Aplicados a Rodovia BR-408 PE / Au- gusto. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade do Vale do Ipojuca. Per- nambuco, 2011.

FIORITI, Cesar F. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo. 2007.

FONTENELLE, T. Qualidade das estradas no Brasil: uma pesquisa da Con- federação Nacional de Transportes. SINICESP. 2014.

GOINFRA – Agência Goiana de Infraestrutura e Transporte. Goinfra, Goiânia, 2019. Disponível em: <https://www.goinfra.go.gov.br/>. Acesso em: 1 de março de 2024.

GOINFRA - AGÊNCIA GOIANA DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES.

Projeto de Reabilitação Funcional de Rodovias – GO-210. GOINFRA. GE- FAD – CPROJ – COORDENAÇÃO DE PROJETOS DA FAIXA DE DOMÍNIO. Goiânia, 2023.

GONÇALVES, F. P. O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos. Notas de Aula – Universidade do Passo Fundo. Passo Fundo, 1999. Disponível em: . Acesso em: Acessado em 10 setembro 2024.

GRECO, J. A. S. Cargas Rodoviárias e Tráfego. Notas de Aula – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: Acesso em: 04 janeiro 2013.

HDM-4. Planejamento Rodoviário. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodovi-aria/hdm4.pdf>. Acessado em 10 setembro 2024.

HEY, A. S.; DALA COSTA, B. P.; SOUZA, J.; GOLINHAK, S.; CERCONI, C.;

DIFERENÇA ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS E PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

ESTUDO DE CASO NA BR-446. Centro Universitário Campo Real, Guarapuava, 2013.

ILOS – Instituto de Logística e Supply Chain. Cenário da Infraestrutura Rodo- viária no Brasil. Disponível em: < <https://www.ilos.com.br/web/cenario-da-infra-estruturarodoviaria-no-brasil/>>. Acesso em 10 maio de 2024.

JAIN, S.; JOSHI, Dr. Y. P.; GOLIYA, S. S.; Design of Rigid and Flexible Pave- ments by Various Methods & Their Cost Analysis of Each Method. Saurabh Jain et al. Int. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013, pp.119-123.

JORNAL OPÇÃO. GO-210, localizada em Rio Verde, terá seu perímetro ur- bano totalmente substituído por uma via duplicada em concreto. Disponível em: <https://www.jornalopcao.com.br/infraestrutura/primeira-rodovia-estadual-de-concreto-deve-ficar-pronta-em-18-meses-586534/>. Acesso em 10 maio de 2024.

KERTIS, M. T.; SUAREZ, D. A. A.; ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO X PAVIMENTO FLEXÍVEL ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DA RODOVIA MS-380 (MUNICÍPIO DE PONTA PORÃ-MS). Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – 2023.

LEE, Shu Han. Projeto geométrico de estrada: Introdução ao projeto geométrico de estrada. 2000. Disponível em: <https://petecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/ECV5115%20-%20Apostila%20de%20Estradas.pdf>. Acesso em: 01 agosto 2024.

MARÉ, F. L. História das Infraestruturas Rodoviárias. Dissertação (Mestrado), Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2011.

MARQUES, G. L. O. Pavimentação. Notas de Aula – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2013. Disponível em: Acesso em: 14 maio. 2013.

MATIAS, R. F.; REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE RÍGIDO E PAVIMENTO FLEXÍVEL CONSIDERANDO DIMENSIONAMENTO E CUSTOS. Trabalho

Conclusão de Curso – Curso Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará – Fortaleza, 2022.

PETZOLD, A. S.; BERNARDI, R. M.; MATTEONI, STEFANO; PAVIMENTOS RÍ-

GIDOS: O FUTURO DAS ESTRADAS BRASILEIRAS. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.1, 2021/01 ISSN 2178-6925, 2021.

PINTO, S.; PINTO, I. E. Pavimentação Asfáltica: Conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2015.

RIO VERDE GO – Prefeitura Rio Verde. RioVerdeGO. Rio Verde, Goiás, 2021. Disponível em: <http://www.rioverdego.com.br/index.php>. Acessado 23 de maio de 2024.

SANTOS, F. C. Pavimentação: análise comparativa entre pavimento rígido e o pavimento flexível. Engenharia Civil da UniEvangélica. Anápolis, Goiás, 2019.

SENÇO, W. Manual de Técnicas de Pavimentação. v1. 2ª ed. São Paulo: PINI, 2008.

SILVA FILHO, Augusto Lins. Estudo Comparativo de Viabilidade Técnica e Econômica Entre Pavimentos Rígido e Flexível Aplicados a Rodovia BR408/PE. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP, Caruaru, 2011. Disponível em: < <http://repositorio.favip.edu.br:8080/bitstream/123456789/164/1/TCC+II++-+Augusto+rev.pdf> >. Acesso em 13 de abril de 2024.

SILVA, A. C. A.; SILVA, M. V. A. A diferença entre pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos. qual melhor custo benefício? Engenharia Civil da UniEvangélica. Anápolis, Goiás, 2021.

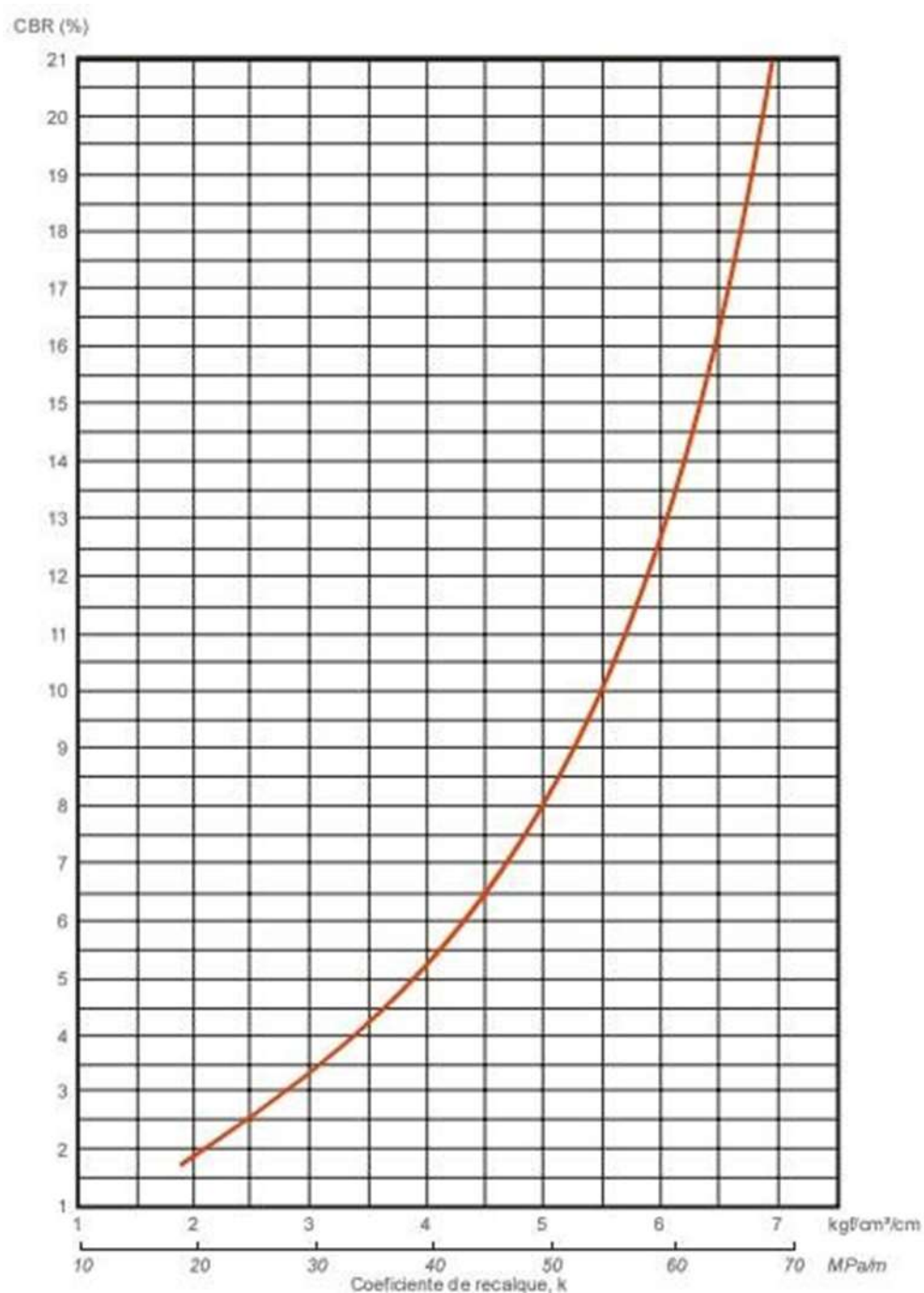
SOUZA, M. N. Dimensionamento de estruturas de pavimento: Aplicação do método DNER (1981) e do método Medina. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019.

TARSI, G.; TATARANNI, P.; SANGIORGI, C.; The Challenges of Using Reclaimed Asphalt Pavement for New Asphalt Mixtures: A Review. Department of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering—University of Bologna, 40131 Bologna, Italy, 2020.

VELLO, M. S.; BARRETO, T. B. Z.; PACHECO, R. F. R. Comparativo de custos entre o pavimento rígido não armado e o pavimento flexível em CBUQ para variados níveis de tráfego. Infraestrutura Urbana do IFES, 2023.

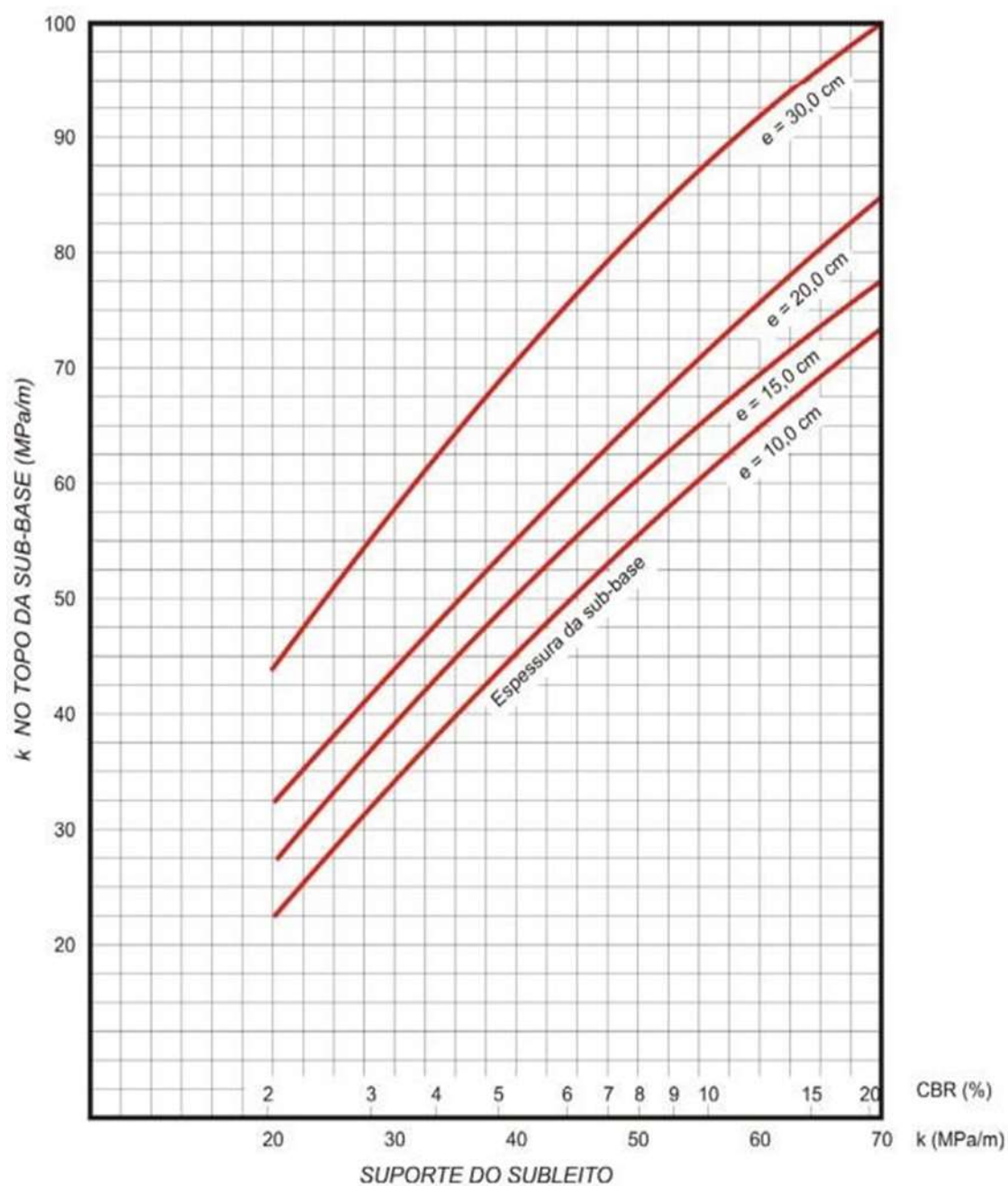
ANEXO I

FIGURA 11 – Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e coeficiente de recalque (k) do subleito



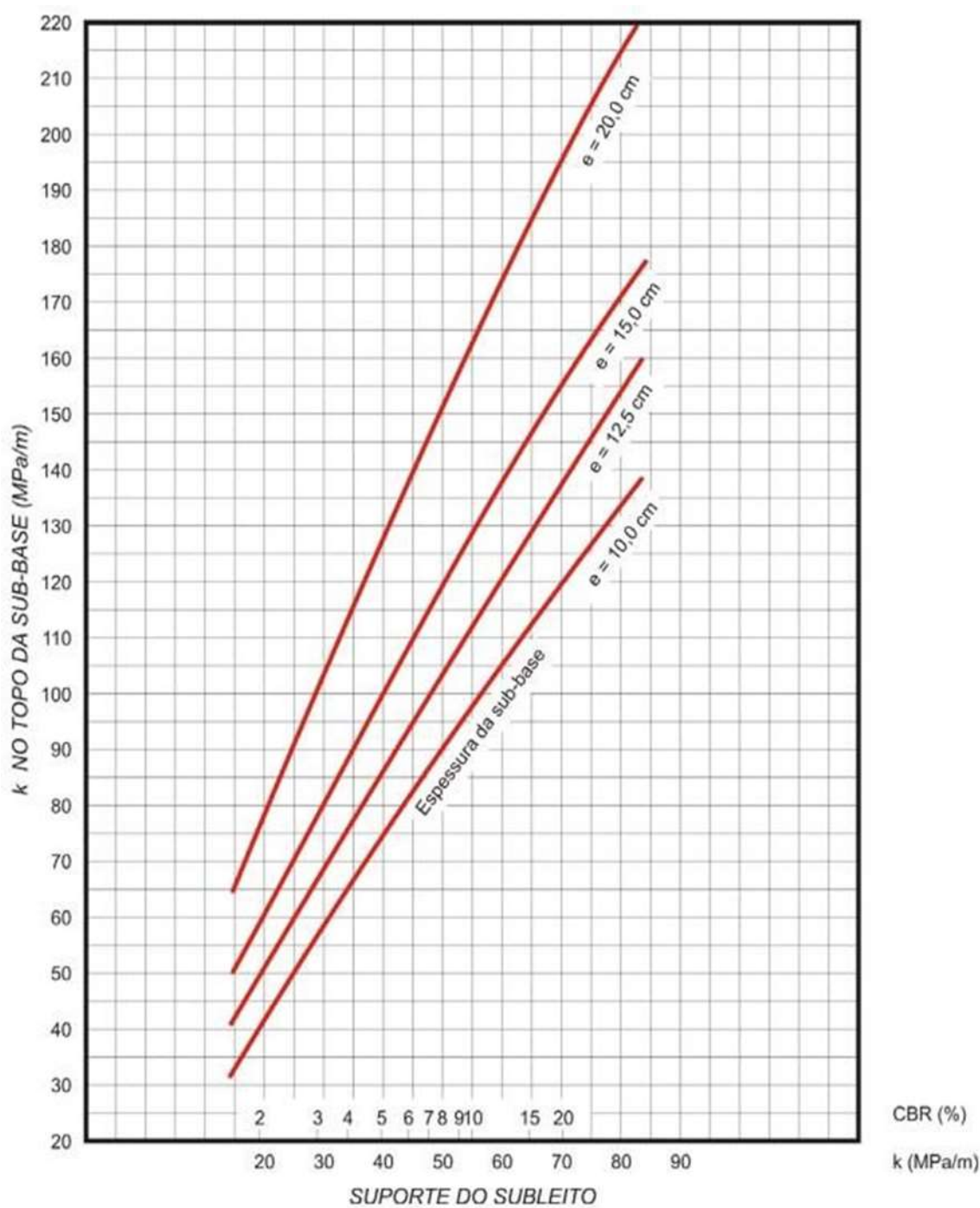
Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

FIGURA 18 – Aumento de k devido à presença de sub-base granular



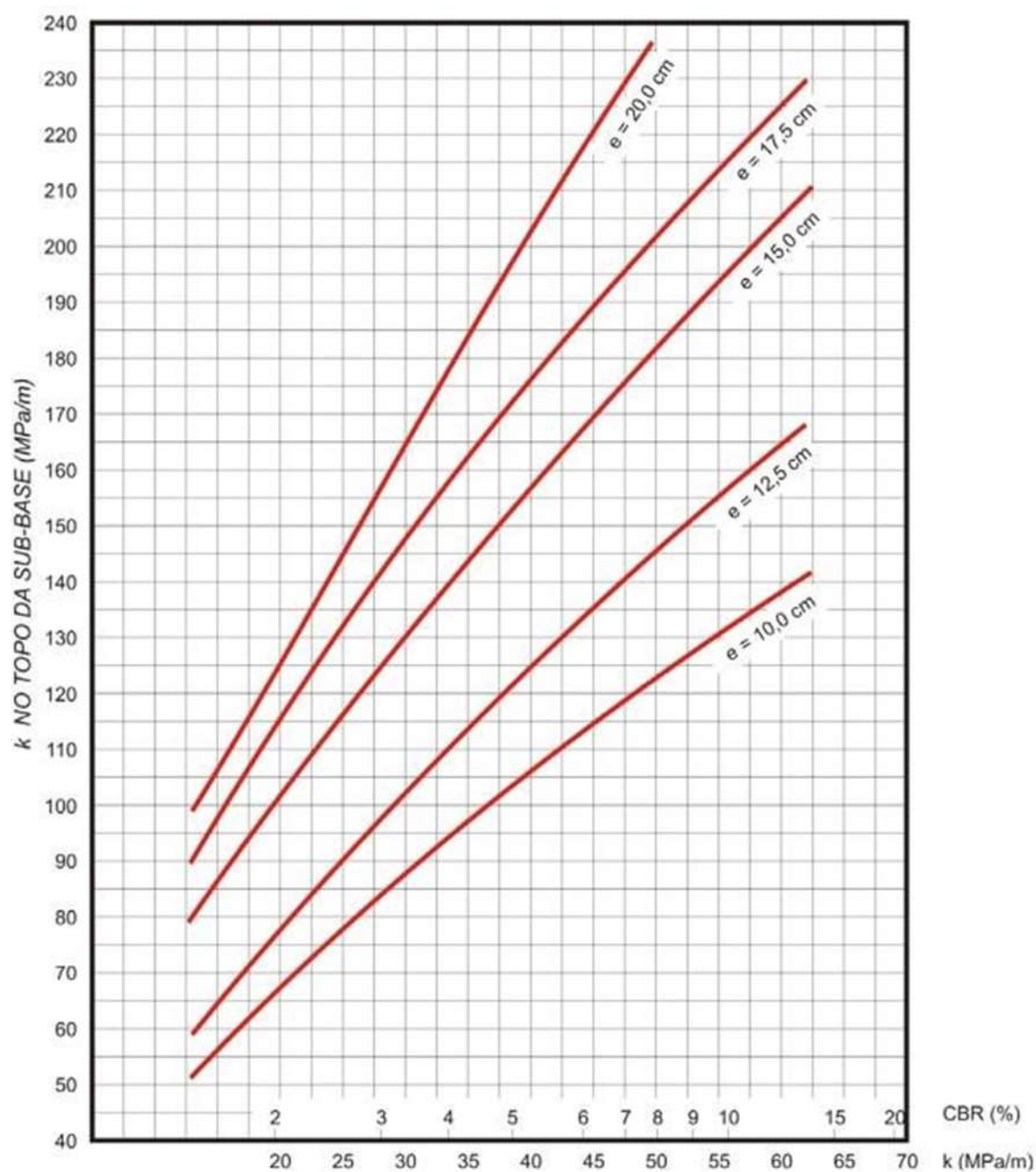
Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

FIGURA 19 - Aumento de k devido à presença de sub-base de brita tratada com cimento



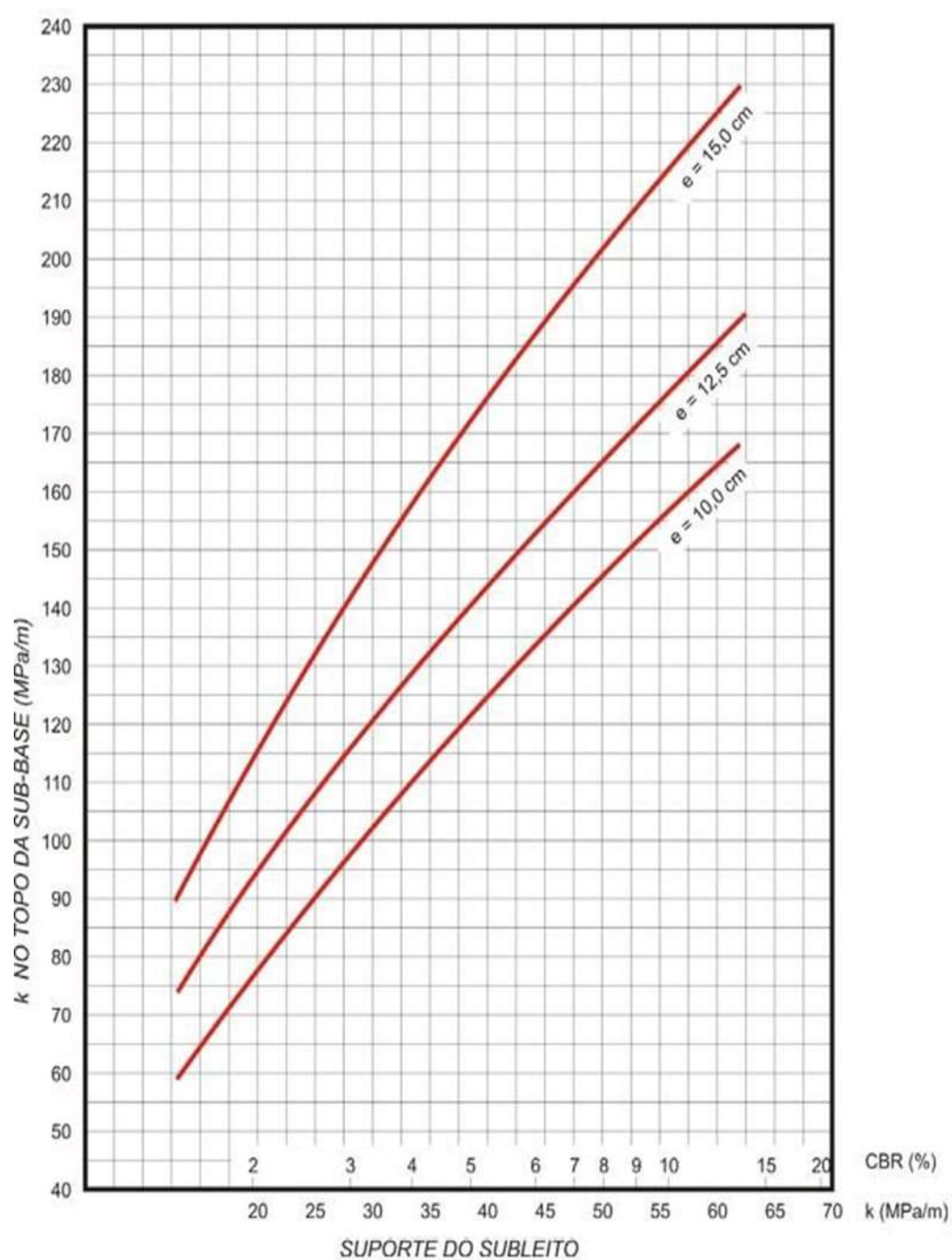
Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

FIGURA 20 - Aumento de k devido à presença de sub-base de solo cimento



Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

FIGURA 21 - Aumento de k devido à presença de sub-base de concreto ro- lado



Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

ANEXO II

QUADRO 11 – Cálculo da espessura de pavimento de concreto

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 EROSIÃO	
			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: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 12 – Tensão equivalente para eixos simples (ES) e eixos tandem duplos (ETD) (pavimento 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: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 13 – Tensão equivalente para eixos triplos (ETT) (pavimento 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

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 14 – Tensão equivalente ES e ETD (pavimento 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	3,36	2,82	2,95	2,46	2,74	2,31	2,60	2,22	2,49	2,16	2,31	2,08
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
30	0,98	0,95	0,87	0,81	0,81	0,73	0,77	0,69	0,75	0,66	0,71	0,60
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
32	0,90	0,89	0,79	0,75	0,74	0,68,00	0,71	0,64	0,69	0,61	0,65	0,56
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
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

ES: Eixos Simples
ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 15 – Tensão equivalente ETT (pavimento com acostamento de concreto)

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

ETT: Eixos Tandem Triplas

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

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

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 17 – Fator de Erosão ETT (Junta sem barras de transferência, pavimento sem acostamento de concreto)

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

ETT: Exos Tandem Tripos
ETT: Exos Tandem Tripos

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 18 – Fator de erosão ES e ETD (junta sem barras de transferência, pavimento com acostamento 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	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	3,11	3,03		
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	3,01	2,95		
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	2,93	2,87		
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	2,85	2,80		
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	2,77	2,74		
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	2,70	2,68		
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	2,64	2,62		
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	2,57	2,57		
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	2,51	2,51		
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	2,46	2,47		
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	2,40	2,42		
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	2,35	2,37		
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	2,31	2,33		
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	2,26	2,29		
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	2,22	2,25		
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	2,17	2,21		
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	2,13	2,18		
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	2,09	2,14		
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	2,06	2,11		
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	2,02	2,07		
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	1,98	2,04		
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	1,95	2,01		
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	1,92	1,98		

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 19 – Fator de erosão ETT (junta sem barras de transferência, pavimento com acostamento de concreto)

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

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 20 – Fator de erosão ES e ETD (Junta com barras de transferência, pavimento sem acostamento)

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	ES	ETD
12	3,51	3,61	3,50	3,57	3,49	3,54	3,48	3,52	3,48	3,51	3,47	3,49	3,45	3,47		
13	3,41	3,53	3,39	3,48	3,39	3,45	3,38	3,43	3,38	3,41	3,37	3,39	3,35	3,37		
14	3,32	3,45	3,30	3,39	3,29	3,36	3,28	3,34	3,28	3,33	3,27	3,30	3,25	3,28		
15	3,23	3,45	3,21	3,31	3,20	3,28	3,19	3,26	3,19	3,24	3,18	3,22	3,16	3,20		
16	3,15	3,37	3,12	3,24	3,12	3,21	3,10	3,18	3,10	3,17	3,09	3,14	3,08	3,12		
17	3,07	3,30	3,05	3,17	3,04	3,14	3,02	3,11	3,02	3,10	3,01	3,07	3,00	3,04		
18	2,99	3,24	2,97	3,11	2,96	3,07	2,95	3,05	2,94	3,03	2,93	3,00	2,92	2,97		
19	2,93	3,18	2,90	3,05	2,89	3,01	2,88	2,98	2,87	2,97	2,86	2,93	2,85	2,91		
20	2,86	3,12	2,83	3,00	2,83	2,95	2,81	2,92	2,80	2,91	2,79	2,87	2,79	2,84		
21	2,80	3,06	2,77	2,93	2,76	2,89	2,74	2,86	2,74	2,85	2,73	2,81	2,72	2,78		
22	2,74	3,01	2,71	2,88	2,70	2,84	2,68	2,81	2,68	2,80	2,67	2,76	2,66	2,73		
23	2,68	2,96	2,65	2,83	2,64	2,79	2,62	2,76	2,62	2,74	2,61	2,70	2,59	2,67		
24	2,63	2,91	2,60	2,78	2,59	2,74	2,57	2,71	2,56	2,69	2,55	2,65	2,54	2,62		
25	2,58	2,87	2,54	2,74	2,54	2,69	2,52	2,67	2,51	2,65	2,50	2,60	2,49	2,57		
26	2,53	2,83	2,50	2,70	2,49	2,65	2,47	2,62	2,46	2,61	2,45	2,56	2,44	2,53		
27	2,48	2,79	2,45	2,66	2,44	2,61	2,42	2,58	2,41	2,57	2,40	2,52	2,39	2,49		
28	2,43	2,75	2,40	2,63	2,39	2,57	2,37	2,54	2,37	2,53	2,35	2,48	2,34	2,45		
29	2,39	2,72	2,36	2,59	2,35	2,54	2,33	2,51	2,32	2,49	2,31	2,44	2,30	2,41		
30	2,43	2,69	2,31	2,56	2,30	2,50	2,28	2,47	2,28	2,45	2,26	2,41	2,25	2,37		
31	2,30	2,65	2,27	2,52	2,26	2,47	2,24	2,43	2,24	2,43	2,22	2,37	2,21	2,34		
32	2,26	2,62	2,23	2,49	2,22	2,43	2,20	2,40	2,19	2,38	2,18	2,33	2,17	2,30		
33	2,22	2,59	2,19	2,46	2,18	2,40	2,16	2,37	2,15	2,35	2,14	2,30	2,13	2,27		
34	2,18	2,56	2,15	2,43	2,14	2,37	2,12	2,33	2,12	2,32	2,10	2,27	2,09	2,24		

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 21 – Fator de erosão ETT (Junta com barras de transferência, pavimento sem acostamento de concreto)

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

ETT: Eixos Tandem Trilhos

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 22 – Fator de erosão ES e ETD (junta com barras de transferência, pavimento 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	3,07	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

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

QUADRO 23 – Fator de erosão ETT (junta com barras de transferência, pavimento com acostamento de concreto)

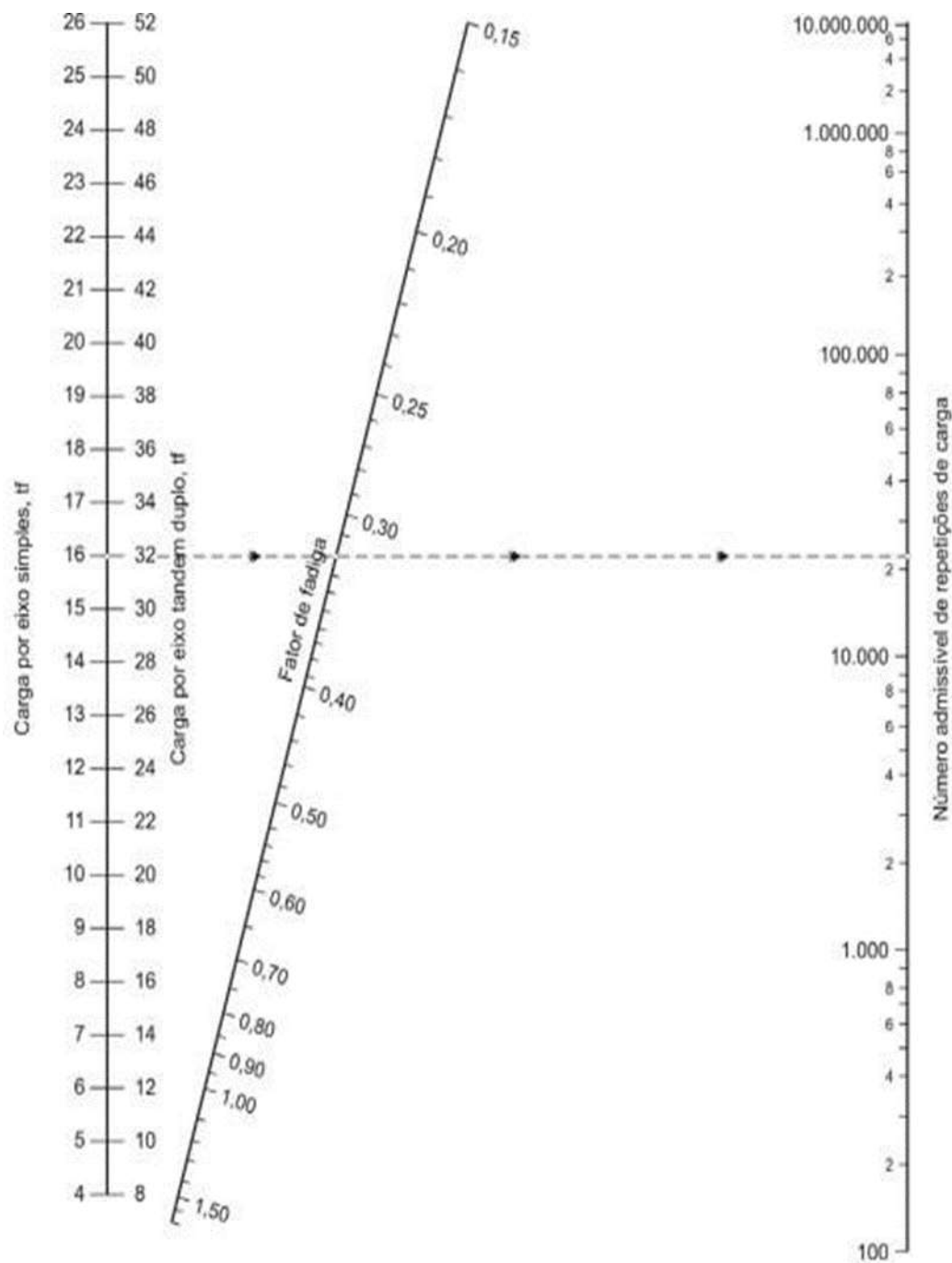
Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)							
	20	40	60	80	140	180	ETT	ETT
12	3,12	2,99	2,93	2,90	2,85	2,82	ETT	ETT
13	3,06	2,92	2,85	2,81	2,76	2,73	ETT	ETT
14	3,00	2,86	2,78	2,74	2,67	2,64	ETT	ETT
15	2,95	2,80	2,73	2,67	2,59	2,56	ETT	ETT
16	2,91	2,76	2,67	2,62	2,52	2,49	ETT	ETT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

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

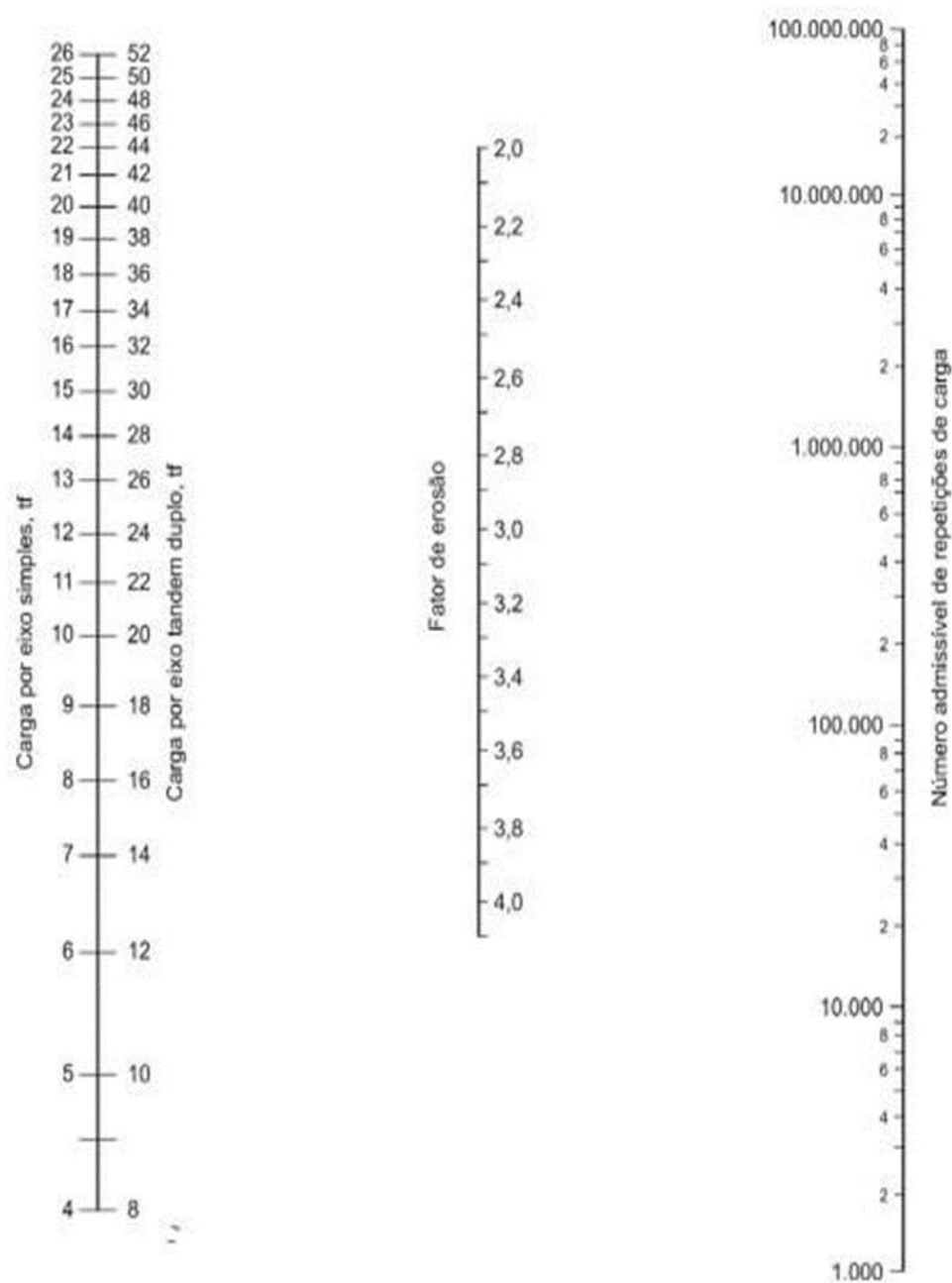
ANEXO III

FIGURA 27 – Análise de fadiga – número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de concreto)



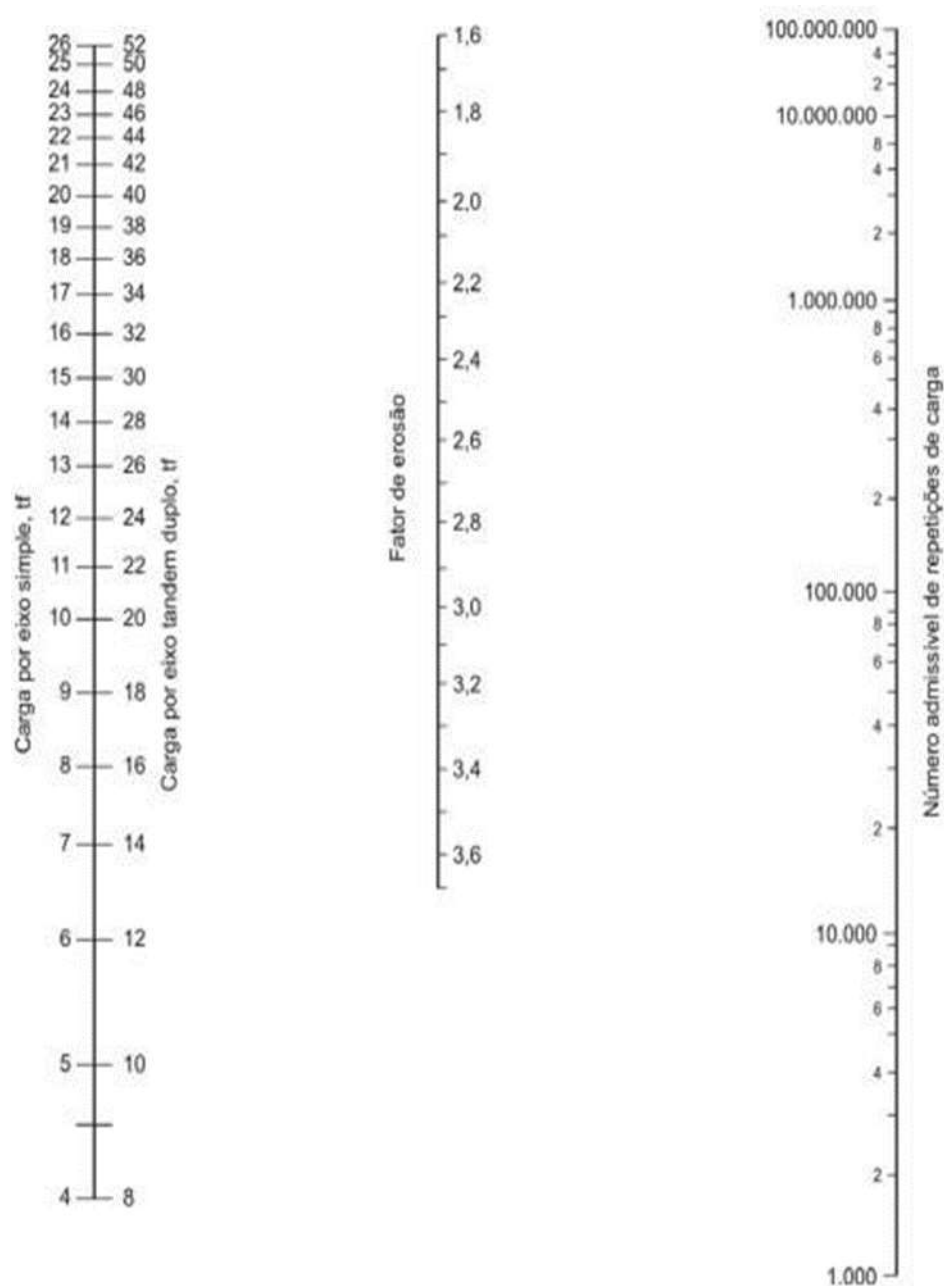
Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

FIGURA 28 – Análise de erosão – número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto)



Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)

FIGURA 29 – Análise de erosão – número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (com acostamento de concreto)



Fonte: Manual de Pavimentação Rígido DNIT (2005)



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)

André Augusto Nóbrega Dantas
Anna Danielle Gadelha Spíndola da Silva
Laís da Costa Brandão
Anna Luiza Nobre Bezerra
João Victor de Sousa
Pedro Filipe de Luna Cunha
Luis Eduardo Correia Andre
Alecio Junior Mattana

ANÁLISE COMPARATIVA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEL E RÍGIDO: ESTUDO DE CASO NA RECONSTRUÇÃO DA GO-210, RIO VERDE-GO