

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**VICTOR DE MATOS SANTOS**

**CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS  
RÍGIDOS**

**APUCARANA**

**2022**

**VICTOR DE MATOS SANTOS**

**CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE  
PAVIMENTOS RÍGIDOS**

**Consideration on the project and dimensioning of rigid pavements**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Martins e Silva.

**APUCARANA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**VICTOR DE MATOS SANTOS**

**CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS  
RÍGIDOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15/junho/2022

---

Leonardo Martins e Silva

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Lucas Lauer Verdade

Mestre

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Luiz Antonio Farani de Souza

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**APUCARANA**

**2022**

Dedicado à minha mãe por todo sacrifício em prol da nossa família, à minha madrinha pela ajuda com os estudos. Aos professores que me auxiliaram com correções e ensinamentos. Ao meu orientador pelos conselhos e a paciência que lidou comigo.

Não são nossas habilidades que mostram o  
que realmente somos. São nossas escolhas.  
(ROWLING; J.K., 2007)

## RESUMO

O transporte rodoviário, que movimenta cerca de 60% das mercadorias e mais de 90% dos passageiros do país, sofre graves problemas com a baixa qualidade da infraestrutura no Brasil, visto que apenas 12,4% da malha rodoviária é pavimentada, dessas, somente em cerca de 1% empregou-se a técnica de pavimentação rígida. Este trabalho baseia-se na necessidade de otimizar o investimento realizado em infraestrutura rodoviária, seja ao visar a criação de novas vias ou ao reabilitar as existentes, além de buscar conhecimento teórico. Seu objetivo principal é caracterizar e descrever o pavimento rígido. Para tanto, fez-se um levantamento bibliográfico em que são apresentadas noções básicas de pavimentação rodoviária, o histórico de uso do pavimento de concreto no Brasil, as características e funções de suas camadas, os diferentes tipos de estruturação empregados na pavimentação, os materiais utilizados na sua elaboração, a descrição detalhada das suas etapas construtivas e os defeitos mais comumente encontrados. Além disso, é realizada uma análise comparativa entre o pavimento rígido e flexível e apresentado o método elaborado pela Portland Cement Association em 1984 para dimensionamento de pavimentos rígidos. Por meio desse método, é determinado a espessura da placa de concreto simples para um trecho com volume de tráfego hipotético. Conclui-se que a pavimentação rígida, comparada à flexível, tem melhor custo-benefício para determinados fluxos de tráfego de veículos comerciais devido à baixa necessidade de manutenção durante sua vida útil que, por sua vez, é duas vezes maior que a dos pavimentos flexíveis, visto que são projetados para durarem ao menos 20 anos.

Palavras-chave: pavimentos rodoviários; pavimento rígido; comparativo; dimensionamento.

## **ABSTRACT**

Road transport, which handles about 60% of the country's goods and more than 90% of passengers, suffers from serious problems with the low quality of infrastructure in Brazil, since only 12,4% of the road network is paved, of which only in about 1% the rigid paving technique was used. This work is based on the need to optimize the investment made in road infrastructure, whether to create new roads or to rehabilitate existing ones, in addition to seeking theoretical knowledge. Its main objective is to characterize and describe the rigid pavement. In order to do so, a bibliographic survey was carried out in which basic notions of road paving are presented, the history of use of concrete pavement in Brazil, the characteristics and functions of its layers, the different types of structuring used in paving, the materials used in its elaboration, the detailed description of its constructive stages and the most commonly found defects. In addition, a comparative analysis between rigid and flexible pavement and the method developed by the Portland Cement Association in 1984 for the design of rigid pavements are presented. Through this method, the thickness of the plain concrete slab is determined for a stretch with a hypothetical volume of traffic. It was concluded that rigid pavement, compared to flexible paving, has better cost- benefit for certain traffic flows of commercial vehicles due to the low need for maintenance during its useful life, which, in turn, is twice as long as flexible pavements, as they are designed to last at least 20 years.

Keywords: road pavements; rigid pavement; comparative; dimensioning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Diferença entre a estruturação dos pavimentos .....	14
Figura 2 - Classificação dos pavimentos avaliados .....	15
Figura 3 – Comparação da distribuição de cargas.....	14
Figura 4 - Court Avenue, Bellefontaine, Ohio, EUA.....	15
Figura 5 – Primeiro automóvel do Rio de Janeiro no início do Século XX.....	15
Figura 6 – Trecho da serra do caminho do mar.....	16
Figura 7– Rio – Petrópolis, toda pavimentada com concreto, em 1928 .....	17
Figura 8 – Rodovia Porto Alegre - São Leopoldo .....	17
Figura 9 – BR - 232 (Luiz Gonzaga), com seus 120 km de extensão .....	18
Figura 10 – Via Anchieta em 1944.....	19
Figura 11– Inauguração da Via Anchieta em 1947 .....	20
Figura 12 – Avenida Conde da Boa Vista em Recife .....	21
Figura 13 – Avenida Brasil, Cidade do Rio de Janeiro, então capital do país ...	21
Figura 14 – Obra na estrada de São Miguel em 1940, trecho paulista da futura Rodovia Presidente Dutra.....	22
Figura 15 – Rodovia Presidente Dutra.....	22
Figura 16 – Rodovia dos Imigrantes .....	23
Figura 17 – Rodovia SC - 438 (Serra do Rio do Rastro), descida São Joaquim	24
Figura 18 – Usina pavimentadora do trecho da Rodovia BR - 101, a maior rodovia de concreto em execução no mundo à época .....	25
Figura 19 – Marginais da Rodovia SP - 208 (Castello Branco).....	26
Figura 20 – Rodoanel Metropolitano Mário Covas, Estado de São Paulo .....	26
Figura 21 – Rodovia MT - 130, trecho em Primavera do Leste .....	26
Figura 22 – Pavimentação rígida na PCR - 280 avança 1 km por dia.....	27
Figura 23 – BR - 163 em Dionísio Cerqueira, a pior rodovia do país .....	28
Figura 24 – Construção de revestimento em concreto feito com equipamentos simples e auxílio de formas fixas .....	29
Figura 25 – Execução de sub-base de concreto compactado à rolo .....	32
Figura 26 – Subleito .....	34
Figura 27- Pavimento de concreto simples.....	41
Figura 28 - Pavimento de concreto simples com barras de transferência.....	42
Figura 29 - Pavimento de concreto com armadura descontínua .....	43
Figura 30 - Pavimento de concreto continuamente armado.....	44
Figura 31 - Pavimento de concreto estruturalmente armado .....	45
Figura 32 - Pavimento de concreto protendido .....	46
Figura 33 – Pavimento de concreto rolada .....	46
Figura 34 – Esquema da concentração de tensões para um concreto sem e com reforço de fibras.....	47
Figura 35 – <i>Whitetopping</i> , método de reabilitação de pavimentos asfálticos ...	49
Figura 36 - Eixos em tandem duplo e triplo .....	52
Figura 37 – Concreto compactado à rolo pintado com pintura betuminosa.....	53
Figura 38 – Posicionamento das barras de transferências .....	56
Figura 39 – Colocação das barras de ligação.....	56
Figura 40 – Descarregamento do concreto.....	57
Figura 41 – Revestimento após passagem de pavimentadora na BR - 163 (SC) .....	57
Figura 42 – Acabamento mecanizado .....	58



Figura 43 – Utilização do rodo de corte .....	58
Figura 44 – Texturização manual com auxílio de passarela de serviço .....	59
Figura 45 – Aspecto superficial após texturização com vassoura de piaçava ..	59
Figura 46 – Texturização mecanizada .....	59
Figura 47 – Cura química realizada manualmente .....	60
Figura 48 – Cura química realizada mecanicamente.....	60
Figura 49 – Membrana gerada pela aplicação do selante.....	60
Figura 50 – Perfilógrafo Califórnia em operação no Rodoanel Metropolitano de São Paulo - Trecho Sul .....	61
Figura 51 – Janela de corte teórica para corte das juntas transversais.....	62
Figura 52 – Serragem da laje de concreto.....	63
Figura 53 – Selagem das juntas transversais .....	63
Figura 54 – Sinalização.....	64
Figura 55 – Alçamento .....	65
Figura 56- Bombeamento .....	66
Figura 57 – Falha na selagem das juntas .....	66
Figura 58 – Desnível rolamento-acostamento .....	67
Figura 59 – Fissura de canto .....	68
Figura 60 – Placa dividida.....	68
Figura 61 – Escalonamento das juntas .....	69
Figura 62 - Buraco.....	69
Figura 63 - Assentamento.....	70
Figura 64 – Placa “bailarina” .....	71
Figura 65 - Esborcinamento das juntas.....	71
Figura 66 – Esborcinamento de canto.....	72
Figura 67 – Fissura transversal.....	73
Figura 68 – Fissura longitudinal .....	73
Figura 69 – Fissura diagonal .....	74
Figura 70 – Desgaste superficial.....	74
Figura 71 – Quebra localizada.....	75
Figura 72 – Passagem de nível .....	75
Figura 73 – Fissuras de retração plástica .....	76
Figura 74 – Fissura superficial.....	76
Figura 75 – Reparo pequeno .....	77
Figura 76 – Reparo grande .....	78
Figura 77 - Custo total, em reais, para implantação e manutenção de 1 km de pavimento .....	82
Figura 78 – Custo total da pavimentação asfáltica e rígida por km .....	83
Figura 79 – Comparação da capacidade de reflexão da iluminação pública entre pavimento rígido e flexível (Rodovia Castello Branco em São Paulo) .....	84
Figura 80 – Diferença de temperatura entre o pavimento rígido e flexível .....	84
Figura 81 - Ábaco de fadiga para eixos simples.....	92
Figura 82 - Ábaco de fadiga para eixos tandem duplos.....	93
Figura 83 - Ábaco de fadiga para eixos tandem triplos .....	94
Figura 84 - Ábaco de erosão para eixos simples .....	95
Figura 85 - Ábaco de erosão para eixos tandem duplos .....	96
Figura 86 - Ábaco de erosão para eixos tandem triplos .....	97

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores típicos para consideração de concretos secos ou fluidos	30
Quadro 2 – Características usuais de sub-bases estabilizadas com cimento...	33
Quadro 3 – Espaçamento recomendado entre as juntas transversais.....	37
Quadro 4 – Diâmetro, comprimento e espaçamento de barras de transferência (Barras lisas – Aço CA - 25).....	40
Quadro 5 – Intervenções prévias requeridas no pavimento asfáltico existente, em função do tipo de defeito.....	49
Quadro 6 - Fator de segurança para cargas (FSC).....	87
Quadro 7 - Tráfego de projeto para uma vida útil do pavimento igual a 20 anos. ....	88
Quadro 8 - Aumento de K devido à presença de sub-base de concreto rolado	89
Quadro 9 - Tensão equivalente - Com acostamento de concreto (Eixo simples / Eixo tandem duplo) .....	89
Quadro 10 – Tensão equivalente para eixos tandem triplos (Sem acostamento de concreto / Com acostamento de concreto).....	90
Quadro 11 - Fatores de erosão - Juntas transversais com barras de transferência e com acostamento de concreto (Eixo simples / Eixo tandem duplo) .....	90
Quadro 12 - Fatores de erosão para eixos tandem triplos - Juntas transversais com barras de transferência (Sem acostamento de concreto / Com acostamento de concreto).....	91
Quadro 13 – Projeto da espessura do pavimento rígido pelo método da PCA/84 .....	98
Quadro 14 – Limite de tráfego para a espessura do pavimento de concreto simples .....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT	Confederação Nacional de Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABC	Cidades de Santo André, São Bernardo e São Caetano
CONCER	Companhia de concessão rodoviária de Juiz de Fora – Rio de Janeiro
EUA	Estados Unidos da América
PE	Estado de Pernambuco
MG	Estado de Minas Gerais
BA	Estado da Bahia
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
DER – SP	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DERSA	Desenvolvimento Rodoviário Sociedade Anônima
SC	Estado de Santa Catarina
DER - PR	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná
PCS	Pavimento de concreto simples
WT	<i>Whitetopping</i>
CCV	Concreto Convencional
CCR	Concreto Compactado à Rolo
PCA	Pavimento de Concreto Armado
PCAC	Pavimento de Concreto com Armadura Continua
PCPM	Pavimento de Concreto Pré-Moldado
PCPRO	Pavimento de Concreto Protendido
WTUD	<i>Whitetopping</i> ultradelgado
CAD	Concreto de Alto Desempenho
DOC	Diretoria de Obras de Cooperação
ISC	Índice de Suporte Califórnia
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
ME	Método de Ensaio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
CA	Concreto Armado
PCA	<i>Portland Cement Association</i> (Associação do Cimento Portland)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
DECONCIC	Departamento da Indústria da Construção
CCP	Concreto de Cimento Portland
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
BGS	Brita Graduada Simples
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> (Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte)
CBR	<i>California Bearing Ratio</i> (Índice de Suporte Califórnia)
SMOP	Secretaria Municipal de Obras Públicas

EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América)
ACPA	<i>American Concrete Pavement Association</i> (Associação Americana de Pavimentos de Concreto)
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
FSC	Fator de Segurança para Cargas

## LISTA DE SÍMBOLOS

K	Coeficiente de recalque
h	Espessura da camada
L	Comprimento da barra de transferência de carga
D	Distância entre os eixos tandem
N	Número de repetições de um eixo padrão
$K_{\text{subleito}}$	Coeficiente de recalque do subleito
$K_{\text{sub-base}}$	Coeficiente de recalque da sub-base
$F_{\text{ctk}}$	Resistência característica do concreto à tração na flexão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	Justificativa do estudo.....	15
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
1.2.1	Objetivos específicos.....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1	Definição de pavimento .....	13
2.2	Função do pavimento .....	13
2.3	Conceito de pavimento rígido .....	13
2.4	História do pavimento rígido .....	14
2.5	Estruturação do pavimento .....	28
2.5.1	Revestimento.....	29
2.5.2	Sub-base .....	32
2.5.3	Subleito .....	34
<b>2.6</b>	<b>Materiais para o concreto do rolamento</b> .....	<b>35</b>
2.6.1	Agregados .....	36
2.6.2	Cimento Portland.....	38
2.6.3	Água .....	38
2.6.4	Aditivos e adições.....	39
2.6.5	Selantes de juntas .....	39
2.6.6	Aço .....	40
<b>2.7</b>	<b>Tipos de pavimentos rígidos</b> .....	<b>41</b>
2.7.1	Pavimento de concreto simples.....	41
2.7.2	Pavimento de concreto com armadura descontinuada.....	43
2.7.3	Pavimento de concreto continuamente armado .....	43
2.7.4	Pavimento de concreto estruturalmente armado .....	44
2.7.5	Pavimento de concreto protendido .....	45
2.7.6	Pavimento de concreto rolado .....	46
2.7.7	Pavimento de concreto com fibras .....	47
2.7.8	Técnicas de reabilitação de pavimentos.....	48
2.7.8.1	<i>Whitetopping</i> .....	48
2.7.8.2	<i>Overlay</i> .....	50
2.7.8.2.1	<i>Overlay aderido</i> .....	50
2.7.8.2.2	<i>Overlay não aderido</i> .....	50

<b>2.8</b>	<b>Dimensionamento .....</b>	<b>51</b>
2.8.1	Processo executivo .....	52
2.8.1.1	Etapa 1 - Execução do subleito e sub-base .....	53
2.8.1.2	Etapa 2 - Execução do pavimento de concreto .....	54
2.8.1.3	Etapa 3 - Corte e selagem das juntas .....	61
2.8.1.4	Etapa 4 - Sinalização.....	63
<b>2.9</b>	<b>Defeitos .....</b>	<b>64</b>
2.9.1	Alçamento de placas .....	65
2.9.2	Bombeamento .....	65
2.9.3	Falha na selagem das juntas.....	66
2.9.4	Desnível entre rolamento e acostamento .....	67
2.9.5	Fissuras de canto .....	67
2.9.6	Placa dividida .....	68
2.9.7	Escalonamento nas juntas .....	68
2.9.8	Buracos .....	69
2.9.9	Assentamento.....	70
2.9.10	Placa “bailarina”.....	70
2.9.11	Esborcimento das juntas .....	71
2.9.12	Esborcimento de canto .....	72
2.9.13	Fissuras lineares .....	72
2.9.13.1	Fissuras transversais.....	72
2.9.13.2	Fissuras longitudinais .....	73
2.9.13.3	Fissuras diagonais.....	73
2.9.14	Desgaste superficial .....	74
2.9.15	Quebra localizada.....	75
2.9.16	Passagem de nível .....	75
2.9.17	Fissuras de retração plástica.....	76
2.9.18	Fissuras superficiais e escamação .....	76
2.9.19	Remendos .....	77
2.9.19.1	Pequenos reparos .....	77
2.9.19.2	Grandes reparos.....	77
<b>2.10</b>	<b>Comparação entre pavimento rígido e flexível .....</b>	<b>78</b>
2.10.1	Manutenção.....	78
2.10.2	Segurança .....	79
2.10.3	Construção .....	79

2.10.4	Desempenho .....	80
2.10.5	Custos das matérias primas .....	80
2.10.6	Custos da construção .....	81
2.10.7	Sustentabilidade .....	83
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>86</b>
<b>3.1</b>	<b>Exemplo de dimensionamento de um pavimento de concreto simples .....</b>	<b>86</b>
3.1.1	Fator de fadiga .....	89
3.1.2	Fator de erosão .....	90
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSÕES .....</b>	<b>98</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>101</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>
	<b>ANEXO A – Aumento de K devido à presença de sub-base de concreto rolado.....</b>	<b>111</b>
	<b>ANEXO B -Tensão equivalente - Com acostamento de concreto (Eixo simples/Eixo tandem duplo).....</b>	<b>113</b>
	<b>ANEXO C - Tensão equivalente para eixos tandem triplos (Sem acostamento de concreto/Com acostamento de concreto).....</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXO D - Fatores de erosão - Juntas transversais com barras de transferência e com acostamento de concreto (Eixo simples/Eixo tandem duplo).....</b>	<b>117</b>
	<b>ANEXO E – Fatores de erosão para eixos tandem triplos - Juntas transversais com barras de transferência (Sem acostamento de concreto / Com acostamento de concreto).....</b>	<b>119</b>
	<b>Anexo F – Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com e sem acostamento de concreto) .....</b>	<b>121</b>
	<b>Anexo G - Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de concreto). .....</b>	<b>123</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A rede rodoviária é parte integrante da infraestrutura de transportes e manifesta-se como a mais relevante para o desenvolvimento de qualquer país. É estruturada de forma que, gradualmente, seus eixos diminuam de tamanho e de importância, a fim de que consigam chegar até as áreas mais remotas do território. Embora seja possível usar outras redes de transporte, as vias podem complementarem-nas (BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2016).

Segundo a Confederação Nacional de Transporte (2018), o transporte rodoviário, que movimenta cerca de 60% das mercadorias e mais de 90% dos passageiros do país, sofre graves problemas com a baixa qualidade da infraestrutura no Brasil, visto que apenas 12,4% da malha rodoviária é pavimentada (CNT, 2021).

O pavimento, propriamente dito, pode ser considerado como toda a estrutura laminada e estratificada que se encontra apoiada sobre uma camada final de terraplenagem ou outra infraestrutura e destina-se, essencialmente, a suportar todo o tráfego previsto para um determinado período e a fornecer aos seus usuários conforto, segurança e economia durante esse período. Essa mesma estrutura pode ser constituída por várias camadas e por vários materiais com características diferentes de resistência e deformabilidade. (RODRIGUES, 2011, p. 1).

Eles são divididos em flexíveis, rígidos, semirrígidos convencionais e invertidos, conforme demonstra a Figura 1. Nos flexíveis as camadas são constituídas por materiais deformáveis em que, a redução das tensões originadas pelo tráfego, ocorre lentamente em profundidade e solicita mais as camadas inferiores, enquanto nos pavimentos rígidos, devido à sua constituição, essa degradação é mais rápida e superficial. Por fim, os semirrígidos e sua derivação invertida, que não serão abordados neste trabalho, são uma situação intermediária entre eles, em que os semirrígidos possuem base cimentada quimicamente, revestida por uma camada asfáltica, e os invertidos possuem base executada com brita graduada simples e sub-base de material granular tratado com cimento (ADADA, 2008; MAIA, 2012).

**Figura 1- Diferença entre a estruturação dos pavimentos**



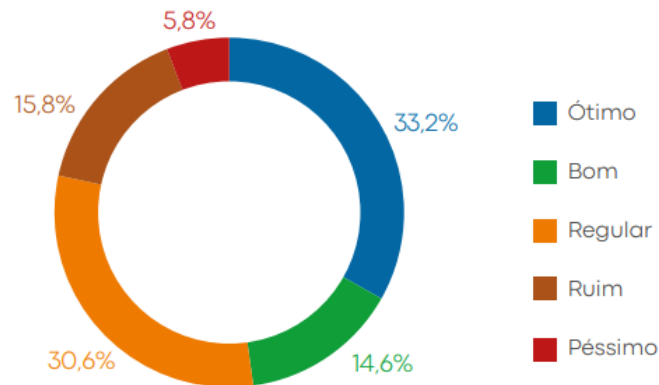
Fonte: Adaptado de Adada (2008, p. 26).

No Brasil, até o ano de 2009, a extensão de rodovias pavimentadas em concreto não ultrapassava 2 mil quilômetros, sendo a pavimentação asfáltica a mais tradicional, popular e difundida a partir dos anos 1950. Além do custo de implantação, essa preferência se justificava pela ampla gama de apoio técnico e normativo existente em agências de transporte oficiais. No entanto, nos últimos anos, a política de concessão de rodovias tem contribuído para o retorno do pavimento de concreto a nível nacional (CUNHA, 2013, p. 34).

Apesar do aumento do uso do pavimento rígido, estima-se que cerca de 99% das rodovias ainda sejam feitas com pavimento flexível, que com manutenção periódica de boa qualidade, pode atingir vida útil de 8 a 12 anos. Entretanto, é comum encontrarem-se rodovias brasileiras deterioradas antes deste prazo de utilização (CNT, 2017).

Conforme pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte em 2021 (Figura 2), praticamente metade da extensão avaliada (46,9% ou 51.118 quilômetros) apresenta pavimento desgastado. Esse panorama entra em conflito com o objetivo primordial da pavimentação de vias, que Balbo (2007) define ser a criação de uma superfície que proporcione fluidez através de boa regularidade e aderência.

**Figura 2 - Classificação dos pavimentos avaliados**



Fonte: CNT (2021, p. 87).

“As causas destes defeitos são diversas, podendo incluir o método de dimensionamento, falhas no processo construtivo e a falta de manutenção preventiva e de fiscalização (tanto construtiva quanto em relação ao excesso de peso dos veículos).” (CNT, 2021, p. 87).

Assim, o presente trabalho fundamenta-se na análise das características do pavimento rígido, para posteriormente compará-las às dos pavimentos flexíveis para, então, concluir se é viável o aumento da utilização do pavimento de concreto no Brasil.

### 1.1 Justificativa do estudo

Um dos problemas encontrados no Brasil em relação aos empreendimentos de pavimentos betuminosos é o não atendimento dos requisitos técnicos de capacidade de suporte da camada de pavimento e de qualidade dos materiais utilizados para o revestimento. Falhas construtivas levam a um processo de deformação mais acelerado, que resulta em maiores custos para reparação desses pavimentos, a fim de atingir as condições ideais de tráfego (CNT, 2021).

A qualidade regular das rodovias do país, conforme apontou a CNT (2021), pode gerar em seus usuários a sensação de desconforto e insegurança. Em 2017, a CNT citou estudos em que se associava a má condição dos pavimentos ao aumento do custo de transporte em 27% (ou acima de 90% em trechos com pavimentação em péssimo estado). Isso acontece devido a menor segurança da via, que gera mais

acidentes, consumo excessivo de diesel e maior tempo de viagem, ou seja, diminuição da eficiência do frete.

A CNT (2018) conclui que a grave crise econômica iniciada no país em 2014 afetou muito o segmento de transporte, que chegou a registrar queda de 6,8% em 2016. No âmbito rodoviário, um dos fatores que gerou tal queda foi a diminuição no fluxo de veículos, que conseqüentemente, afetou a arrecadação e dificultou o investimento para ampliação e manutenção da malha viária. Segundo a mesma confederação (2017), de 2004 a 2016, 30% (cerca de 38 bilhões de reais) do orçamento disponibilizado pelo governo federal para investimentos na área não foram aplicados.

A má gestão pública e o investimento insuficiente para a conservação dos pavimentos existentes (CNT, 2017) geram o questionamento de que o pavimento rígido poderia ser uma alternativa interessante para as demandas brasileiras, devido a sua menor necessidade de manutenção e maior durabilidade (OLIVEIRA, 2000).

Este trabalho baseia-se na necessidade de otimização do investimento realizado em infraestrutura rodoviária, tanto para criação de novas vias, quanto para reabilitação das existentes, além da busca por conhecimento teórico. Para tanto, serão apontadas as vantagens e desvantagens do método de pavimentação rígida, e como dimensioná-lo, de forma a auxiliar os engenheiros que se encontram na posição de ter que escolher qual alternativa de pavimentação deverá ser empregada.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar e descrever o pavimento rígido, além de apresentar o dimensionamento de um trecho rodoviário teórico.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho estão elencados a seguir:

- Fazer revisão bibliográfica sobre o tema;
- Descrever a estruturação de suas camadas, os materiais que o compõe, seus diferentes tipos, além dos principais defeitos que o acomete e suas

etapas construtivas;

- Comparar o pavimento rígido ao flexível em diversos aspectos;
- Dimensionar a espessura, de um pavimento de concreto simples, necessária para suportar as exigências impostas pelo tráfego em um trecho teórico e;
- Verificar se o pavimento rígido é uma alternativa viável para a realidade brasileira.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

Este tópico descreve a análise de diversos autores a respeito da pavimentação rígido. Apresentam-se nele a definição e função do pavimento, os tipos de pavimentos rígidos, seus defeitos, além de comparações entre o pavimento rígido e flexível em diversos aspectos e a teoria do método de dimensionamento desenvolvido pela Portland Cement Association em 1984.

### **2.1 Definição de pavimento**

“Pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre um semiespaço considerado teoricamente como infinito [...] a qual é designada de subleito.” (DNIT, 2006, p. 95).

Complementarmente a definição anterior, Bernucci (2008) afirma que suas camadas são constituídas de diferentes materiais e executadas sobre a superfície terraplanada da plataforma estradal.

### **2.2 Função do pavimento**

As estruturas de pavimento são previamente dimensionadas para suportar as cargas advindas do tráfego e a condição ambiental do local idealizado, para isso, é necessário considerar a economia da região e a disponibilidade de materiais. Essas ponderações são fundamentais para que, de modo geral, não se apresentem processos de deterioração prematuramente (BALBO, 2007).

Dessa forma, o empreendimento proporcionará conforto, economia e segurança aos seus usuários (BERNUCCI *et al.*, 2008).

### **2.3 Conceito de pavimento rígido**

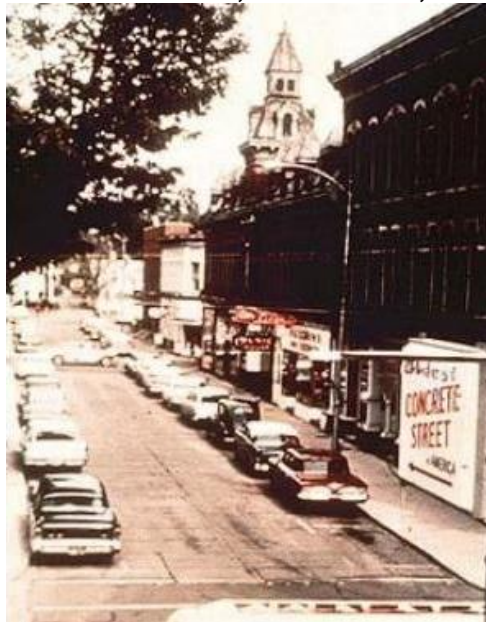
O pavimento rígido é o método em que a camada superior é feita em concreto. Esta denominação se dá por conta desse material ter uma elevada resistência



da poeira em períodos secos que, eventualmente, gerava nuvens prejudiciais para a visão e respiração (RODRIGUES, 2011).

Os americanos foram os primeiros a construírem pavimentos rígidos, em 1891, ano em que executaram uma avenida no centro da cidade de Bellefontaine, Estado de Ohio, retratada na Figura 4 (CARNEIRO; SILVA, 2014). A Iniciativa surgiu de George Bartholomew, considerado “o pai do pavimento de concreto”. Sua construção foi feita em duas camadas, com ranhuras a cada 10 cm para impedir que os cavalos escorregassem (VIZZONI, 2016).

**Figura 4 - Court Avenue, Bellefontaine, Ohio, EUA**



**Fonte: Hallack (2005, p. 9).**

Em 1916 os primeiros automóveis chegaram ao Brasil e rapidamente tornaram-se milhares, isso fez com que a Ford se interessasse pelo mercado brasileiro e instalasse, aqui, uma fábrica de automóveis em 1919 (Figura 5) (RODRIGUES, 2011).

**Figura 5 – Primeiro automóvel do Rio de Janeiro no início do Século XX**



**Fonte: Canabarro; Torres et al. (2005, p. 64).**



Havia demanda pela construção de novas estradas de rodagem, uma vez que as ferrovias não eram capazes de escoar totalmente a produção (ABCP, 2009). O então presidente do país em 1926, Washington Luís, que durante a campanha utilizou-se do lema “Governar é abrir estradas”, foi um dos maiores incentivadores dessa ideia, pois acreditava que as estradas eram semeadoras de cidades (ABCP, 2009).

Foi nesse contexto que ocorreu o primeiro uso do pavimento rígido no Brasil, em 1925, com o início das obras do antigo Caminho do Mar, entre Riacho Grande e Cubatão, no Estado de São Paulo, concluída no ano seguinte, com aproximadamente 8 km de extensão (Figura 6) (FERREIRA, 1973 *apud* BALBO, 2009, p. 57).

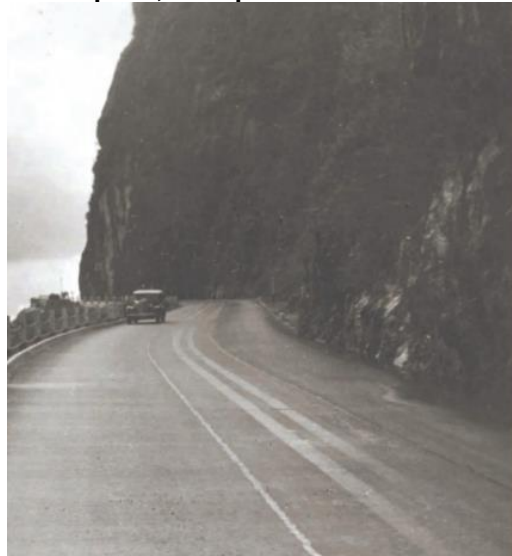
**Figura 6 – Trecho da serra do caminho do mar**



**Fonte: Adaptado de ABCP (2013, p. 14).**

Em 1927 iniciou-se a construção da estrada na Serra de Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro. Inaugurada no ano seguinte, ela possuía 23 km de extensão no trecho em serra, totalmente em concreto, com duas faixas de largura de 3,25 m, em pistas simples (Figura 7) (PENTEADO, 1929 *apud* BALBO, 2009, p. 57; CONCER, 2022).

**Figura 7– Rio – Petrópolis, toda pavimentada com concreto, em 1928**



Fonte: Adaptado de ABCP (2009, p. 17).

Segundo a Revista Técnica e de Propaganda Rodoviária (1938 - 1939 *apud* ABCP, 2009, p. 20) com o intuito de estimular-se a produção e o desenvolvimento econômico das regiões Norte e Nordeste, em 1933 iniciaram-se os estudos para criação de uma conexão rodoviária entre Rio de Janeiro e Bahia. Nesse mesmo ano a construção da estrada Itaipava - Teresópolis também foi iniciada, ela serviria de ligação para a Rio - Bahia. No ano seguinte foram inauguradas as rodovias Porto Alegre - São Leopoldo com 22 km (Figura 8) e Porto Alegre - Gravataí com 14,3 km, pavimentadas com placas de concreto com 3 m de largura e acostamento de paralelepípedos com 1,20 m de largura (CANABARRO; TORRES *et al.*, 2005).

**Figura 8 – Rodovia Porto Alegre - São Leopoldo**



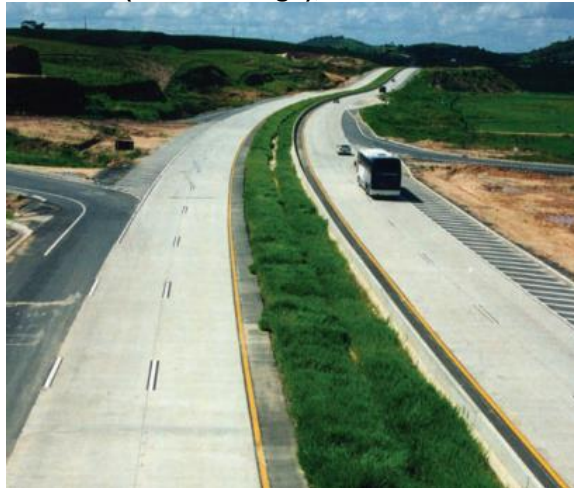
Fonte: Adaptado de ABCP (2009, p. 22).

Devido ao aumento da utilização dessa alternativa, em 1936, foi fundada a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com a intenção de aprimorar e

difundir essa tecnologia (RODRIGUES, 2011). Conforme a Revista Técnica e de Propaganda Rodoviária (1938 - 1939 *apud* ABCP, 2009, p. 21) nesse mesmo ano dois trechos da Rio - Bahia foram iniciados: Areal - Porto Novo, que abrangia os 72 km da Rodovia Rio - Petrópolis, destes, 50 km em concreto, e Leopoldina - Muriaé.

Na Bahia, em 1937 a Rodovia Bahia - Feira, principal do Estado, foi aperfeiçoada, com utilização de concreto com armaduras, devido ao aumento do tráfego. Mais de 50 km da rodovia foram revestidos com placas de 10 m de comprimento e 3 m de largura (PREGO, 2001). No ano seguinte deu-se início a obra da Rodovia BR - 232 (atual Rodovia Luiz Gonzaga) (Figura 9), entre Recife e Caruaru, com cerca de 120 km de extensão, em pista simples, com 7,20 m de largura total (BALBO, 2009).

**Figura 9 – BR - 232 (Luiz Gonzaga), com seus 120 km de extensão**



**Fonte: ABCP (2009, p. 50).**

Antes da Segunda Guerra Mundial, 92% das autoestradas alemãs eram feitas em concreto. A mesma tendência foi seguida pelos EUA, que tinham, ao fim de 1950, 89% de suas grandes vias urbanas pavimentadas com concreto (CARNEIRO; SILVA, 2014).

A eclosão, em setembro de 1939, da Segunda Guerra Mundial, provocou nos anos seguintes inflação, declínio das exportações de produtos agrícolas e a falta de produtos importados como aço, carvão, gasolina, óleo combustível e máquinas, o que exigiu que o país se industrializasse. O setor de transportes vivia uma de suas maiores crises, por conta da deterioração e sobrecarga da rede ferroviária, escassez de meios marítimos e do colapso rodoviário (ABCP, 2009).

Com uma economia fortalecida no pós-Guerra, o Brasil aumentou sua industrialização, a inauguração de estradas como Anhanguera e Anchieta foi parte vital para este processo e proporcionou, respectivamente, o crescimento da região do ABC, que ainda hoje é um grande polo industrial, e o escoamento das riquezas produzidas no interior do Estado de São Paulo (RODRIGUES, 2011).

A Via Anchieta, primeira autoestrada do país, que ligaria São Paulo à baixada santista, foi iniciada em 1939 e entregue em 1947 (Figuras 10 e 11), toda em concreto, com pistas duplas de 6 m de largura cada uma e 62 km de extensão. Seu pavimento seguiu o padrão alemão, com placas de 20 cm sobre base de areia compactada, placas estas que se encontram lá até hoje, abaixo de espessas camadas de misturas asfálticas que recobriram sucessivamente a rodovia. Em 1940 iniciou-se também as obras da Rodovia Anhanguera (trecho São Paulo - Jundiaí), em solução semelhante à utilizada na Rodovia Anchieta. Tal obra teve a primeira pista inaugurada em 1948 (BALBO, 2009; DER - SP, 2022).

**Figura 10 – Via Anchieta em 1944**



**Fonte: Adaptado de ABCP (2009, p. 21).**

**Figura 11– Inauguração da Via Anchieta em 1947**



**Fonte: Adaptado de ABCP (2009, p. 18).**

Não demorou muito para que a demanda por cimento fosse grande por parte da indústria da construção civil, isso fez o setor de pavimentação se reinventar e utilizar-se de outros produtos. Paralelamente a isso, o preço dos derivados de petróleo era muito convidativo, principalmente em países que, como o Brasil, possuíam refinarias de petróleo instaladas, o que gerava muito interesse em desenvolver-se a tecnologia que o empregava para essa finalidade. O setor da pavimentação brasileira aproveitou-se disso e absorveu rapidamente o conhecimento produzido nos EUA (CARNEIRO; SILVA, 2014).

Segundo Pitta (1991 *apud* ABCP, 2009, p. 27) algumas regiões do país resistiram a tal mudança e continuaram a investir na pavimentação rígida. A ABCP (2005 *apud* ABCP, 2009, p. 27) cita que uma delas foi Recife (PE), conhecida como “a capital do pavimento rígido”, que fez uso de pavimentos desta natureza pela primeira vez em 1935, entretanto, somente entre 1955 e 1959 o método foi firmado, com a construção da avenida Conde da Boa Vista (Figura 12). No Município do Rio de Janeiro, as pistas de grande tráfego e velocidade também foram pavimentadas com concreto armado, como a pista lateral da Avenida Brasil em determinados trechos (Figura 13) (PREGO, 2001).

**Figura 12 – Avenida Conde da Boa Vista em Recife**



Fonte: ABCP (2009, p. 58).

**Figura 13 – Avenida Brasil, Cidade do Rio de Janeiro, então capital do país**



Fonte: Adaptado de ABCP (2009, p. 28).

De 1946 a 1950, o montante arrecadado pelo Fundo Rodoviário Nacional triplicou, o que proporcionou a ampliação da malha viária do país. Esse período ficou marcado como era das grandes ligações, em que se completou praticamente as unificações rodoviárias e ferroviárias dos sistemas do Norte e do Sul do país, exemplo disso foi a conclusão (sem pavimentação) da Rodovia Rio - Bahia, com a entrega do trecho Teófilo Otoni (MG) - Feira de Santana (BA). Após 1950, seguiu-se intensa a pavimentação rodoviária, não só pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem como pelos diversos órgãos estaduais (DNER, 1950 - 1951 *apud* ABCP, 2009, p. 31).

A obra de maior importância do mandato do presidente Dutra (1946 - 1951), e que marcou a história da técnica de pavimentação na construção de rodovias no país, foi a Via Dutra (Figuras 14 e 15) (ABCP, 2009). Sua construção foi realizada na década de 50, e um trecho, de aproximadamente 60 km de comprimento, na saída da Cidade do Rio de Janeiro, utilizou-se de pavimento de concreto simples com 20 cm de espessura, sobre bases de macadame hidráulico. No restante da extensão da rodovia utilizou-se de pavimento betuminoso. Em 1998 houve a duplicação da Via Dutra no trecho Guarulhos - São Paulo (pistas marginais), em que, igualmente,



utilizou-se de concreto simples para sua cobertura, desta vez contou-se com equipamentos modernos de grande capacidade de produção (BALBO, 2009).

**Figura 14 – Obra na estrada de São Miguel em 1940, trecho paulista da futura Rodovia Presidente Dutra**



Fonte: Adaptado de ABCP (2009, p. 30).

**Figura 15 – Rodovia Presidente Dutra**



Fonte: IBRACON (2012, p. 54).

Segundo o DER - SP (1974 apud ABCP, 2009, p. 35 e 37), demorou-se 24 anos para que o Brasil ganhasse uma estrada de porte em concreto. Esse hiato foi encerrado com criação da Rodovia dos Imigrantes (Figura 16), que teve o primeiro trecho, de 33 quilômetros, no planalto, aberta ao tráfego em 1974, e foi completamente finalizada em 1976. Era tida como a melhor rodovia do país, pois apresentava novidades como equipamentos de apoio ao usuário, incomum para o Brasil no início da década de 70.

**Figura 16 – Rodovia dos Imigrantes**



**Fonte: ABCP (2009, p. 108).**

Em seu trecho na Serra do Mar, com cerca de 13 km, empregou-se pavimento de concreto simples em três faixas de rolamento, com espessura de 22 cm. Destaca-se na obra o uso de película de cura química sem tenda de proteção além do uso de telas de aço nas placas sem função estrutural (BALBO, 2009). Utilizou-se, também, de base de brita graduada simples em trechos de terraplanagem e nos túneis da serra, e brita tratada com cimento, ideal para o tráfego pesado, no restante da rodovia (DERSA, 1976). A interligação entre Anchieta e Imigrantes foi executada em 1973. Em 2001 – 2002, foi concluída a pista descendente da Rodovia dos Imigrantes, em que se empregou placas de concreto simples, com 22 cm de espessura, sobre base em concreto compactado à rolo de 10 cm (BALBO, 2009).

Trata-se também de um caso raro de conhecimento não oficial de desempenho: em 2003 - 2004, após três décadas de operação, das cerca de 11,5 mil placas de concreto no trecho da Serra do Mar, aproximadamente 6,5% foram totalmente substituídas. Segundo informações obtidas na antiga agência rodoviária responsável pela rodovia, naqueles 30 anos nunca foram feitas manutenção preventiva ou corretiva por meio de resselagem de juntas (BALBO, 2009, p. 60).

Diversos empreendimentos foram feitos em concreto até meados da década de 70, porém, houve redução significativa nas duas décadas seguintes (RODRIGUES, 2011; IBRACON, 2012). Em 1986, a Rodovia da Serra do Rio do Rastro (Figura 17), com cerca de 1400 m de desnível, que liga a região de Criciúma à São Joaquim no estado de Santa Catarina, recebeu pavimento de concreto simples em seu trecho mais íngreme, com cerca de 7 km, na qual as placas possuíam 20 cm de espessura e base de concreto compactado com rolo com 10 cm. Após 15 anos de uso, com tráfego de 1300 veículos diários, das 2200 placas de concreto, somente 6% necessitavam de



reconstrução. No mesmo ano ocorreu a duplicação de trecho de 20 km da Rodovia Pedro Taques, na baixada santista, em que também se empregou pavimento de concreto simples (BALBO, 2009).

**Figura 17 – Rodovia SC - 438 (Serra do Rio do Rastro), descida São Joaquim**



**Fonte: ABCP (2009, p. 132).**

A política imediatista dos governantes, que tinha como objetivo interligar, no menor prazo possível, todos os municípios às capitais, ganhou força (MESQUITA, 2001). Para que isso ocorresse seria necessário que o custo inicial da obra fosse o principal item a ser levado em consideração na hora de escolher a metodologia a ser empregada, visto que, a economia gerada possibilitaria uma extensão maior de pistas pavimentadas, na maioria das vezes em detrimento da qualidade das mesmas (PITTA, 1996).

Essa redução de vida útil e utilização de pavimentos de baixo custo nos empreendimentos rodoviários foi aceita pelos órgãos normativos (MESQUITA, 2001). Isso fez com que o uso da pavimentação de concreto no Brasil fosse praticamente extinto. Gerou-se aí uma certa resistência à volta dos pavimentos rígidos, mesmo diante de mudanças no cenário econômico e avanços tecnológicos (PITTA, 1996). Dentre outros fatores responsáveis para que isso ocorresse estão: O fato das previsões de custos oficiais para empreendimentos rodoviários estarem defasados (uma vez que não consideravam os avanços tecnológicos no campo da pavimentação rígida), a falta de estudos de viabilidade técnica e econômica, a redução de investimentos em equipamentos e formação de mão de obra apropriados desde a Segunda Guerra Mundial e a acomodação por desconhecimento do usuário (evidenciada pelo uso da palavra “asfaltar” como sinônimo de “pavimentar”) (IBRACON, 2012).

As previsões de que recursos necessários para manutenção dos pavimentos estariam sempre disponíveis e que os preços do asfalto se manteriam estáveis falharam, além disso, o crescente endividamento nacional, gerou escassez recorrente de recursos públicos necessários para sua conservação e isso agravou a situação da malha rodoviária nacional (MESQUITA, 2001).

O ponto de virada para o pavimento rígido se deu em 1998, ano em que a Associação Brasileira de Cimento Portland comprou pavimentadoras e usinas modernas (CARNEIRO; SILVA, 2014). Naquele período havia apenas duas pavimentadoras de concreto no Brasil, atualmente existem cerca de 30, que podem ser deslocadas por todo o país (CINZENTA, 2019). Nestas últimas décadas, grandes obras como o Rodoanel Metropolitano Mário Covas, assim como a BR - 101 (Figura 18), utilizaram este método de execução (MOSCHETTI, 2015).

**Figura 18 – Usina pavimentadora do trecho da Rodovia BR - 101, a maior rodovia de concreto em execução no mundo à época**



**Fonte: IBRACON (2012, p. 25).**

Em 2000 - 2001 foram executados os pavimentos de concreto simples das marginais da Rodovia SP - 208 (Castello Branco) (Figura 19), entre Osasco e Barueri. O Rodoanel Metropolitano Mário Covas entrou em funcionamento em 2002 (Figura 20). Com camada de concreto simples de 24 cm de espessura, sobre base em concreto compactado à rolo de 15 cm e sub-base com 10 cm de brita graduada simples. No mesmo ano foi utilizada pavimentação rígida pela primeira vez na região do estado do Mato Grosso, trata-se da Rodovia MT - 130 (Figura 21), em seu trecho entre Primavera do Leste e Paranatinga, com cerca de 110 km, feita em concreto simples, sobre base de solo-cimento (BALBO, 2009).

**Figura 19 – Marginais da Rodovia SP - 208 (Castello Branco)**



Fonte: ABCP (2009, p. 106).

**Figura 20 – Rodoanel Metropolitano Mário Covas, Estado de São Paulo**



Fonte: ABCP (2009, p. 105).

**Figura 21 – Rodovia MT - 130, trecho em Primavera do Leste**



Fonte: ABCP (2009, p. 84).

No Nordeste, a duplicação da BR - 101, que vai de Natal, no Rio Grande do Norte, até Feira de Santana, na Bahia, com quase 1.050 km de extensão, utiliza-se de pavimentação rígida (IBRACON, 2012). Em seu trecho de Natal à Maceió, duplicado em 2006, utilizou-se de concreto simples com 22 cm, sobre base de concreto compactado à rolo de 10 cm, apoiada diretamente no subleito de solo

desejado (BALBO, 2009). Em 2022, foi entregue mais um trecho de 40 km em concreto, entre as cidades sergipanas de Propriá e Capela (BRASIL, 2022).

Em 2021, no estado do Paraná, utilizou-se pela primeira vez a técnica de reabilitação de pavimentos asfálticos deteriorados, *whitetopping*, na obra de restauração da PRC - 280 (Figura 22), no trecho entre Palmas e Novo Horizonte, com 59,55 km de extensão. Atualmente, ela se encontra em andamento e tem previsão de ser finalizada até julho de 2022 (PARANÁ, 2021). Este método já foi aplicado com sucesso na SC - 114, em um trecho de 32,2 km, entre Otacílio Costa e Lages, em Santa Catarina (ABCP, 2022).

**Figura 22 – Pavimentação rígida na PCR - 280 avança 1 km por dia**



**Fonte: Paraná (2021, p. 1).**

Em maio de 2022, o DNIT iniciou a pavimentação do tipo *whitetopping* na pista principal da BR - 163, em São José do Cedro (SC). Até então, a rodovia marcada pelo grande fluxo de carretas de transporte de grãos, era considerada a pior do Brasil em estudo realizado pela CNT (2021) (Figura 23). O pavimento, em péssimo estado de conservação, atualmente em asfalto, que servirá de base, será todo coberto por concreto, para que sua durabilidade e segurança aumentem (ESTRADAS, 2022). Tanto o trecho paranaense, entre Cascavel e Marmelândia, com cerca de 70 km de extensão, e o catarinense, entre Dionísio Cerqueira e São Miguel do Oeste, com cerca de 60 km de extensão, receberão pavimentação rígida (MASCHIO, 2020). No mesmo período, no Estado do Paraná, optou-se pela alternativa de pavimentação rígida na via central da Rodovia dos Minérios, trecho entre Curitiba e Almirante Tamandaré, com quase de 5 km de extensão. Adotou-se placas de concreto com 27 cm, devido à alta demanda do tráfego local e das características do solo da região (ESTRADAS, 2022).

**Figura 23 – BR - 163 em Dionísio Cerqueira, a pior rodovia do país**



**Fonte: G1 (2022, p. 1).**

No Brasil, atualmente, o concreto consolida-se também como alternativa viável à pavimentação urbana, visto que é tido como a principal opção para corredores exclusivos para tráfego de transporte público, perimetrais urbanas e marginais (RODRIGUES FILHO, 2014).

Obras em andamento como, a restauração do pavimento na BR - 135, no Maranhão, a continuidade da implantação e pavimentação da BR - 285, na divisa entre Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e as duplicações da BR – 163 e BR - 364, no Mato Grosso do Sul e da BR - 222, no Ceará, demonstram todo o potencial desta técnica (SHOW, 2021).

## **2.5 Estruturação do pavimento**

O Manual de Pavimentos Rígidos (DNIT, 2005) diz que as placas de concreto podem estar apoiadas em sub-bases granulares, solo estabilizado com cimento, concreto rolado, entre outros. Este suporte deve ser capaz de resistir à erosão por toda vida útil do pavimento. Já a fundação deve apresentar boa resistência e ser constituída de material homogêneo (RODRIGUES, 2011).



### 2.5.1 Revestimento

Essa camada constituída de concreto (agregados e ligantes hidráulicos), que funciona conjuntamente como camada de revestimento e de base (Figura 24), é o elemento estrutural mais importante, já que é quem absorverá todos os carregamentos do pavimento e transferi-los à fundação, de modo que esta trabalhe sempre no regime elástico, ou seja, sem deformações irreversíveis. (BALBO *et al.*, 2016; DNIT, 2005; RODRIGUES, 2011). Se executada em concreto simples possuirá comprimento transversal menor ou igual a 3,75 m e longitudinal de até 6 m (DNIT, 2005), ademais, é recomendado que o acostamento e a faixa de refúgio também sejam executados em concreto, dessa maneira seria possível diminuir a espessura das placas, além de evitar problemas de infiltração de água (VIZZONI, 2016).

**Figura 24 – Construção de revestimento em concreto feito com equipamentos simples e auxílio de formas fixas**



Fonte: Concrepav (2022, p. 1).

Ela pode ser feita através de diferentes técnicas de manipulação do concreto, em concordância com as exigências de projeto, execução, operação e manutenção (BALBO, 2009). Ressalta-se a importância de que a mesma garanta a impermeabilidade do pavimento, não só por meio das placas de concreto como das juntas que devem estar seladas com material adequado (RODRIGUES, 2011).

O concreto a ser empregado deverá apresentar uma baixa variação volumétrica e um consumo de cimento igual ou superior à 320 kg/cm<sup>3</sup> de concreto (DNIT, 2005). Os testes a serem nele realizados são os de resistência à tração na flexão e de compressão, além do teste de abatimento do concreto fresco (*slump*), a fim de conferir se sua trabalhabilidade, ou seja, a resistência que a própria massa de

concreto opõe ao seu movimento, por ação da gravidade, está adequada, com auxílio do cone de Abrams. Um concreto é denominado seco se o abatimento for pequeno e fluido caso seja grande (Quadro 1) (BALBO, 2009). Como o equipamento para determinação da resistência à tração na flexão tem peso considerável e é de difícil transporte, usualmente, opta-se por fazer uma equivalência das tensões necessárias para o rompimento nas duas ocasiões e, assim, posteriormente, poder-se fazer o controle da mistura apenas por meio do teste de resistência à compressão (ABCP, 2021).

**Quadro 1 – Valores típicos para consideração de concretos secos ou fluidos**

<b>Tipo</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
Seco	0 a 20
Normal	20 a 160
Fluido	> 160

**Fonte: Adaptado de Balbo (2009, p. 72).**

Em termos de pavimentação, a depender do tipo e do processo de produção do pavimento de concreto, os valores esperados de *slump* podem variar bastante (Tabela 1). Caso esse abatimento, que equivale à diferença entre a altura inicial do concreto (do tronco de cone) e a sua altura final depois da retirada do cone de compactação que envolve a massa fresca, estiver mais baixo do que o ideal para a pavimentadora à ser utilizada, poderá, possivelmente, prejudicar o acabamento e o adensamento, por outro lado se estiver muito elevado, eventualmente irá prejudicar as demais etapas, uma vez que ao utilizar-se de pavimentadora com formas deslizantes, as bordas não irão se sustentar após sua passagem (BALBO, 2009; ABCP, 2021).

**Tabela 1 – Valores típicos de abatimento para concretos em pavimentação**

Tipo de pavimento	Tipo de concreto	Método construtivo	Abatimento (mm)
PCS WT	CCV	Fôrmas – trilho	60 -90
		Régua vibratória e fôrmas laterais desmontáveis	60 - 90
		Fôrmas deslizantes	0 – 40
		<i>Laser screed</i>	60 – 100
PCA	CCR	Rolo liso vibratório	0
		Régua vibratória e fôrmas laterais	60 – 100
		Fôrmas deslizantes	50 – 70
		<i>Laser screed</i>	60 – 100
PCAC	CCV	Fôrmas – trilho	60 – 100
		Régua vibratória e fôrmas laterais	60 – 90
		Fôrmas deslizantes	40 – 60
PCPM	CCV	Fôrmas metálicas	60 – 100
		Régua vibratória e fôrmas laterais	60 – 90
PCPRO	CCV	Fôrmas deslizantes	20 – 60
		<i>Laser screed</i>	80 – 160
		Fôrmas – trilho	60 – 90
WTUD	CAD	Régua vibratória e fôrmas laterais	80 – 160

**Fonte: Adaptado de Balbo (2005 apud BALBO, 2009, p. 73).**

Embora o abatimento seja um dos parâmetros de dosagem e controle, é necessário recordar que seu valor entre a usina dosadora (ou dosadora - misturadora) e o local de aplicação em pista poderá sofrer sensíveis alterações. Alguns fatores de ordem natural, de transporte ou relacionados à composição do concreto - como dias excessivamente quentes, distância de transporte e uso de adições no concreto, como a sílica ativa - tendem a causar significativa perda de abatimento na massa fresca como se dá com o uso de fibras (BALBO, 2009, p. 73).

Aconselha-se adotar valores de resistência característica à tração na flexão, aos 28 dias, na faixa dos 4,5 MPa, visto que, valores baixos como, por exemplo, 4,0 MPa ou menos, correspondem a concretos de baixa impermeabilidade, durabilidade inadequada e uma espessura necessária de placa acentuada, enquanto os muito altos, com 5 MPa ou mais, correspondem a concretos de maior impermeabilidade, durabilidade adequada e menor espessura necessária de placa, mas que em compensação, exigem controle tecnológico rigoroso, e possuem maior custo (DNIT, 2005).



A relação água-cimento da mistura deve ficar entre 0,4 e 0,56, visto que, quanto maior a relação, mais cimento e material fino, como areia, serão necessários no traço e, conseqüentemente, maior será a tendência à fissuração por retração. O ideal é deixar a consistência mais grossa ao utilizar-se bastante agregado graúdo do tipo brita 2, no entanto, busca-se sempre o equilíbrio entre estes agregados e os do tipo brita 1, para que, assim, o acabamento não seja prejudicado (ABCP, 2021).

Em síntese, o concreto designado à execução de pavimentos rígidos deve apresentar aspecto endurecido, compacto e durável, que satisfaça às condições de resistência mecânica e acabamento superficial (DNIT, 2004).

### 2.5.2 Sub-base

É a camada delgada, localizada abaixo da placa de concreto, executada com material granular ou estabilizada com ligante hidráulico (concreto pobre, solo-cimento), a fim de conseguir-se mais resistência diante às solicitações do tráfego intenso de veículos pesados (Figura 25) (RODRIGUES, 2011; DNIT, 2004).

**Figura 25 – Execução de sub-base de concreto compactado à rolo**



Fonte: Adaptado de DOC (2012, p. 3).

Ela deverá eliminar a possibilidade de ocorrência do fenômeno de bombeamento de finos plásticos, que possam estar presentes no subleito, devido à presença de água em excesso e cargas pesadas, evitar os efeitos prejudiciais provocados pelas mudanças excessivas de volume nos solos da fundação e por fim, uniformizar e tornar razoavelmente constante o suporte da fundação ao longo da faixa de rolamento (DNIT, 2005).

Modernamente, são comuns as sub-bases de concreto compactado à rolo e concreto magro, que não necessitam de juntas de retração ou de dilatação e são adensados por meio de vibrações produzidas por equipamentos comuns de compactação (DNIT, 2005).

A sub-base de solo-cimento, caracteriza-se pela mistura compactada de solo, cimento Portland e água. Ela deve satisfazer certos requisitos de densidade, durabilidade e resistência, para assim, produzir um material duro, cimentado, de grande rigidez à flexão. O teor de cimento adotado usualmente é de cerca de 6 a 10% (Quadro 2) (DNIT, 2005).

**Quadro 2 – Características usuais de sub-bases estabilizadas com cimento**

<b>Tipos de estabilização</b>	<b>Requisitos de dosagem</b>	<b>Espessuras usuais</b>
Solo – cimento	1) Resistência mínima à compressão simples, aos 7 dias, entre 1,4 e 2,1 MPa	10 cm a 20 cm
	2) Consumo mínimo de cimento igual a 5% em massa	
Brita tratada com cimento	1) Resistência à compressão simples, aos 7 dias, entre 3,5 e 5,0 Mpa	10 cm a 20 cm
	2) Consumo mínimo de cimento igual a 3% em massa	
Concreto pobre (ou rolado)	1) Resistência característica à compressão simples, aos 7 dias, entre 3,0 e 7,0 Mpa	7,5 cm a 15 cm
	2) Relação cimento:agregado entre 1:15 e 1:22	
Solo melhorado com cimento	1) Índice de suporte Califórnia igual ou maior que 30% (conforme DNER-ES-P 09-71)	10 cm a 20 cm
	2) Consumo mínimo de cimento igual a 3% em massa	

**Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.75).**

Utilizam-se também camadas constituídas por solos, britas de rochas, de escória de alto forno, ou ainda, pela mistura desses materiais. Denominadas de sub-base de brita graduada ou de brita corrida, elas são sempre flexíveis e estabilizadas granulometricamente pela compactação do material, ou da mistura, que apresentem granulometria e índices geotécnicos apropriados (DNIT, 2005).

Outra alternativa são os macadames hidráulicos e secos, que consistem em uma camada de brita de graduação aberta de tipo especial (ou brita tipo macadame), que, no caso de macadame hidráulico, após espalhamento na superfície, seguido de varredura e compressão, tem os vazios preenchidos pelo material de enchimento,

constituído por finos de britagem (pó de pedra) ou mesmo por solos de granulometria e plasticidade apropriadas para, por fim, serem irrigados. Já o macadame a seco, ao dispensar a irrigação, além de simplificar o processo de construção evita o encharcamento, sempre indesejável, do subleito (DNIT, 2005).

É mais vantajoso economicamente construir-se essa camada com maior espessa, pois isso permitiria reduzir-se a espessura da camada de rolamento, que possui preço mais elevado (ABCP, 2021).

### 2.5.3 Subleito

Leito é a denominação dada à superfície obtida por terraplenagem ou obra-de-arte e conformada ao seu greide e perfis transversais (DNIT, 2006). Sua regularização compreendem a execução de cortes ou aterros até 20 cm de espessura destinados a conformar o leito, transversal e longitudinalmente (DNIT, 2005). O subleito, por sua vez, é o solo local que servirá de fundação e, portanto, suportará todas as camadas sobrepostas que compõem a estrutura do pavimento (Figura 26) (BALBO *et al.*, 2016; BERNUCCI *et al.*, 2008). Ele deve ser estudado e considerado até a profundidade em que as cargas, impostas pelo tráfego, atuam de forma significativa, o que em termos práticos, situa-se numa faixa entre 0,60 m e 1,50 m (DNIT, 2006). Além disso, deve ser estável e uniforme para evitar possíveis recalque e, conseqüentemente, a quebra da placa de concreto (ABCP, 2021).

**Figura 26 – Subleito**



**Fonte: Brasileiro (2022, p. 1).**

Como estrutura de fundação de pavimentos rodoviários, as propriedades mecânicas e físicas de maior destaque nos solos são a permeabilidade, capilaridade, compressibilidade, elasticidade, contratilidade, expansibilidade e resistência ao cisalhamento (DNIT, 2006). “Nos projetos de pavimentos rígidos deve ser dada especial atenção à ocorrência de variações bruscas nas características do subleito, especialmente à presença de solos expansivos e de camadas espessas de argila mole” (DNIT, 2005, p. 69).

Países de clima quente e úmido, como o Brasil, tem como característica a elevada atividade de decomposição de rochas, como consequência, solos de mesma fonte podem ter comportamentos muito diferentes, por conta disso, é necessário estudá-lo previamente para conhecer suas propriedades, visto que, essa fundação deverá ser formada por material homogêneo e não sensível à água. Caso apresente heterogeneidade nas suas características físicas e mecânicas ou pouca capacidade de carga, demonstradas pelos ensaios de ISC e de caracterização (Granulometria, LL, LP), deverá ser reforçado através da mistura deste com solo de melhor qualidade até que atinja as exigências de projeto (BALBO *et al.*, 2016; RODRIGUES, 2011).

Para determinação da espessura da camada de concreto do pavimento, o parâmetro que corresponde ao suporte dado pelo subleito é o Coeficiente de Recalque (K). Ele é determinado em uma prova de carga estática, conforme a norma DNIT 055/2004 - ME, em que são correlacionadas as pressões verticais transmitidas ao subleito por meio de uma placa rígida (com, ao menos, 76 cm de diâmetro) e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, na mesma profundidade, numa amostra padronizada de pedra britada, ou outro material equivalente, com uma pressão de 1000 Psi para a penetração de 0,1 polegadas ou 1500 Psi para 0,2 polegadas (DNIT 2005; SENÇO, 2007).

## **2.6 Materiais para o concreto do rolamento**

Diversos tipos de materiais podem ser utilizados na elaboração dos pavimentos, para isso, é indispensável determinar as características do empreendimento, assim como de sua localidade, para que por fim possa se escolher os mais adequados (BALBO, 2007).

Os componentes mais importantes na mistura que derivará o pavimento rígido e irá conferir qualidade a ele são o Cimento Portland, os agregados (miúdos e graúdos), a água, os aditivos e os selantes das juntas (DNIT, 2005). Vale mencionar também o Aço, presente nas malhas e barras de transferências (OLIVEIRA, 2000).

### 2.6.1 Agregados

São materiais granulares com tamanhos e formas distintos, com características ideais para elaboração de camadas de bases, misturas betuminosas ou de concreto (SENÇO, 2007). Sua fonte determinará se serão classificados como naturais (pedregulhos, areias, britas, entre outros), artificiais (escória de alto-forno e aciaria, entre outros) e reciclados (DNIT, 2006).

Para a pavimentação rígida, os agregados que constituem o concreto devem ter condicionamento especial que os diferem dos empregados na mistura utilizadas em edificações, pontes, entre outros. Essa condição especial tem objetivo de aumentar a resistência à tração e à fadiga do concreto, além da durabilidade do mesmo, face às ações ambientais ou abrasivas, provenientes do tráfego e, diminuir as variações volumétricas ou a suscetibilidade à fissuração. Assim, faz-se necessário uma maior rigorosidade em sua seleção, exigências e aplicação (DNIT, 2005).

Os agregados miúdos utilizados nos pavimentos rígidos devem possuir dimensão máxima de 4,8 mm e mínima de 0,075 mm. Já os graúdos, devem ter dimensão entre 1/5 e 1/4 da espessura da placa, desde que não exceda o valor mínimo de 4,8 mm e máximo de 50 mm (ABCP, 1998; ABCP, 2021).

Os principais aspectos tecnológicos a serem observados nos agregados para concreto de pavimentação são a relação entre o agregado adotado e a resistência mecânica atingida pelo concreto, e a presença de materiais deletérios que possam futuramente comprometer seu desempenho e constituir-se em elementos destruidores do pavimento, com capacidade de reduzir sua vida útil ao ocasionar variações volumétricas ou degradações suficientes para desprendê-los da mistura e, conseqüentemente, permitir-lhes movimentação (DNIT, 2005).

Conforme a Norma ABNT - NBR 7221, a qualidade do agregado graúdo pode ser determinada ao comparar-se as resistências obtidas em diferentes traços de concretos de características idênticas, nos quais variam-se somente o tipo do

agregado graúdo. Isso também é feito para os agregados miúdos a fim de descobrir quais destes fornecerão à argamassa maior resistência. Já a certificação da existência de elementos deletérios, neles presentes, é realizada através de análises petrográficas em agregados rochosos e pedregulhos, e mineralógicas em agregados miúdos, conforme a Norma NBR 7389 (DNIT, 2005).

Alguns desses elementos poderão ter seus efeitos neutralizados por meio de providências corretivas não sendo, portanto, fatores de restrição ao uso do material no concreto, mas tais providências poderão trazer ônus desnecessários para a obra. Para outros elementos deletérios, tais como a pirita e argilo-minerais expansivos, não se dispõe de providências corretivas e as ocorrências, onde for detectada a presença deles, não devem ser consideradas como fontes de obtenção de agregados (DNIT, 2005, p. 21).

Deve-se, preferencialmente, selecionar agregados de dimensões e forma regulares, com arestas bem definidas e superfície rugosa, para que facilite a aderência entre a pasta e o agregado, que tem importante papel no estabelecimento da resistência do concreto à tração na flexão (ABCP, 1998).

A escolha desse material pode, também, influenciar em aspectos como o espaçamento das juntas (Quadro 3), e por isso deve-se observar a composição mineralógica do agregado, pois é de grande importância na fixação do espaçamento por seu maior ou menor coeficiente de expansão térmica. O quadro abaixo demonstra que o emprego de seixo rolado (ou cascalhos) como agregado graúdo, impede a adoção de distâncias maiores entre as juntas, enquanto o uso de agregado britado permite sua ampliação (DNIT, 2005).

**Quadro 3 – Espaçamento recomendado entre as juntas transversais**

<b>Tipos de agregado graúdo</b>	<b>Espaçamento recomendado entre juntas transversais (m)</b>
Pedra britada granítica	Até 7,5
Pedra britada calcária, sílico-calcária ou pedregulho de calcário	Até 6,0
Seixo rolado, cascalho ou escória com dimensão máxima menor que 19 mm	Até 4,5

**Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p. 155).**

“A experiência brasileira tem demonstrado que uma distância máxima de 6 m entre as juntas transversais é perfeitamente adequada às nossas condições gerais” (DNIT, 2005, p. 155).

### 2.6.2 Cimento Portland

O Cimento Portland é constituído de clínquer e de adições, misturadas a ele na fase de moagem, são elas que, por variação, definem os diferentes tipos de cimentos. Os cimentos que se mostram mais adequados para pavimentação, ao gerar maior eficiência no concreto (com maiores resistências para menores consumos), são aqueles em que o processo de endurecimento é mais demorado. A escolha deste, se possível for, poderá trazer maior economia, qualidade e longevidade ao empreendimento, por conta da menor probabilidade de ocorrência de fissuração (DNIT, 2005).

No entanto, não há restrições quanto a essa escolha, pois mesmo os cimentos Portland que possuem desenvolvimento de resistência mais lento, como os pozolânicos ou os de alto-forno, podem garantir a resistência à tração na flexão do concreto no prazo previsto em projeto, seja através de cura apropriada ou, se necessário, do uso de aditivos adequados (ABCP, 1998).

### 2.6.3 Água

A água a ser utilizada no amassamento e cura deve ser isenta de substâncias prejudiciais ao processo de pega e endurecimento do concreto, usualmente águas tratadas e utilizadas para o abastecimento das populações das cidades são consideradas satisfatórias (DNIT, 2005).

Se for inevitável o uso de águas provenientes de poços, rios ou outros, das quais desconheça-se características, é recomendável a execução de ensaios comparativos de pega e resistência a compressão a fim de descobrir se ela tem boa qualidade (DNIT, 2006).

As impurezas prejudiciais a serem evitadas são argilas ou matérias húmicas em suspensão, sais minerais em proporções prejudiciais, açúcares, ácidos, álcalis, óleos, entre outros (DNIT, 2006).

#### 2.6.4 Aditivos e adições

Aditivo é qualquer substância não completamente imprescindível à elaboração ou à finalidade do concreto, mas que, ao ser misturada a ele em quantidades corretas, produz ou aprimora certas características da mistura, quer no estado plástico, como no endurecido (DNIT, 2005).

Dentre as características mais desejadas obtidas por meio deles estão a melhora da trabalhabilidade, a aceleração ou retardamento da fase de pega, a diminuição da permeabilidade, a melhora do desenvolvimento da resistência nas idades iniciais, entre outras (DNIT, 2005).

“Nas pavimentações de concreto os de emprego mais disseminado e conveniente são os redutores de água (também conhecidos como plastificantes), os incorporadores de ar e os aceleradores de endurecimento.” (ABCP, 1998, p. 20).

#### 2.6.5 Selantes de juntas

O procedimento de selagem das juntas é necessário a fim de inibir a infiltração de água e de materiais sólidos através delas. As características desejadas para o material selante são fluidez, adesividade, elasticidade e resistência a fissuração (DNIT, 2005).

Permite-se utilizar como selantes a quente os mástiques elásticos bicomponentes, associações de um fluido viscoso (asfaltos de baixa penetração e emulsões asfálticas catiônicas, entre outros) e um filer (cimento portland hidratado, cal apagada, calcário pulverizado, entre outros). Já os selantes a frio devem ser produtos industrializados, no máximo bicomponentes, aplicáveis em temperatura ambiente, composto por resinas epoxílicas, polissulfetos orgânicos, uretanos, silicones ou polimercaptanos (ABCP, 1998).

A entrada de água traz consequências danosas a longevidade do pavimento, já que a água pode provocar a erosão da sub-base ao mover-se entre ela e a placa de concreto, o que acarretaria prejuízo à continuidade de apoio demandado para boa atuação do pavimento (DNIT, 2005).



Já a entrada imprevista de materiais sólidos pode impedir que a junta se movimente livremente, o que, em dias de altas temperaturas, que promovem o estreitamento da abertura das juntas, desenvolverá tensões de compressão imprevistas em projeto, estas, associada a outros fatores, podem atingir valores prejudiciais a estrutura (DNIT, 2005).

#### 2.6.6 Aço

Na construção civil utilizam-se aços fabricados com ligas de ferro-carbono, sejam eles, laminados a quente, que apresentam escoamento preciso e ganho de resistência posterior, ou, conformados a frio, que proporciona elevação da resistência e diminuição da ductilidade (BALBO, 2009).

Especificamente em pavimentos rígidos, seu emprego mais comum se dá por fibras de aço, que visam aumentar a resistência à tração e a fragilidade do concreto endurecido. Além disso, são usados na confecção de telas soldadas com finalidade de controle da retração e auxílio na resistência dos momentos fletores gerados pelo tráfego de veículos. Não menos importante está a utilização dele em forma de barras de transferência de carga entre placas (Quadro 4), que são lisas para permitir livre movimentação das juntas, e barras de aço de ligação em juntas longitudinais, feitas em aço corrugado para maior aderência entre as placas, visto que seu objetivo é, basicamente, engastar e garantir o perfeito encaixe das lajes em paralelo na pista de rolamento (ABCP, 2021; BALBO, 2009).

**Quadro 4 – Diâmetro, comprimento e espaçamento de barras de transferência (Barras lisas – Aço CA - 25)**

<b>Espessura da placa (cm)</b>	<b>Diâmetro (cm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Espaçamento (mm)</b>
Até 17,0	20	460	300
17,5 - 22,0	25	460	300
22,5 - 30,0	32	460	300
> 30,0	40	460	300

Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p. 157).

## 2.7 Tipos de pavimentos rígidos

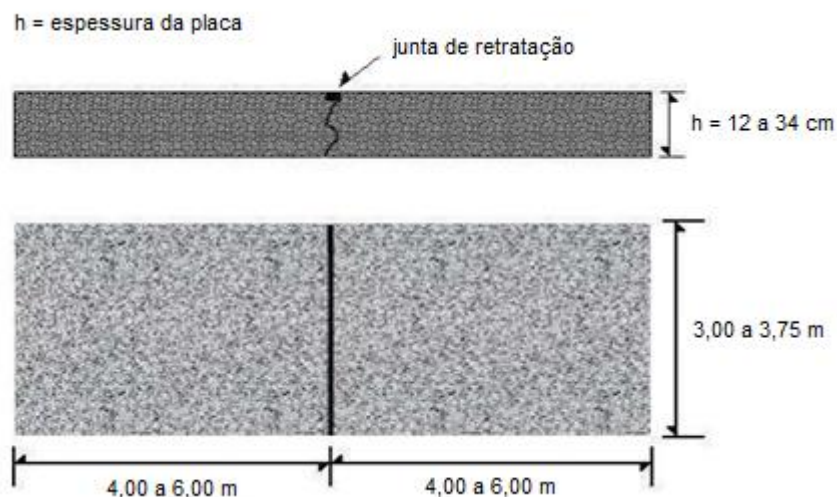
O pavimento rígido pode ser executado em concreto simples, armado, protendido, com adição de fibras, com concreto rolado ou com concreto de alta resistência. É possível também a associação destes com concretos especiais, como o *fast-track* (resistência rápida), que possibilita a retomada do tráfego poucas horas depois da concretagem (DNIT, 2005).

Neste tópico são apresentados tais tipos mais comumente empregados, além de métodos de reabilitação de pavimentos deteriorados.

### 2.7.1 Pavimento de concreto simples

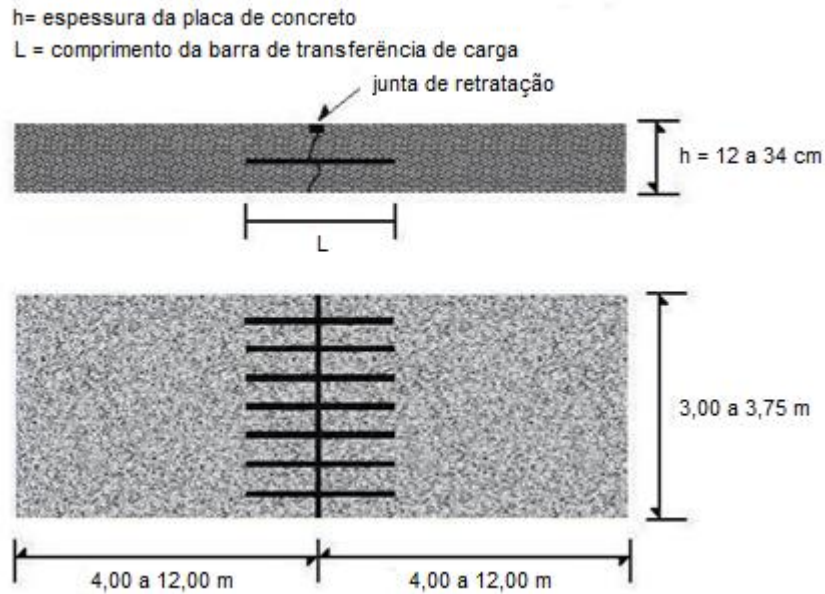
É o pavimento no qual os esforços de compressão e tração na flexão são resistidos apenas pela placa de concreto (Figura 27). O empregado de barras de transferência de carga é opcional (Figura 28). Este é o tipo de pavimento rígido mais utilizado no Brasil (OLIVEIRA, 2000).

**Figura 27- Pavimento de concreto simples**



Fonte: Adaptado de Viana (2018, p. 9).

**Figura 28 - Pavimento de concreto simples com barras de transferência**



Fonte: Adaptado de Viana (2018, p. 10).

As barras de transferência são posicionadas exatamente sob as juntas transversais. Isso faz com que as cargas aplicadas próximas às juntas tenham seus efeitos aliviados, uma vez que os transmite para a placa subsequente, que à ajudaria a suportá-los. Além delas, emprega-se também, nas juntas longitudinais das placas, barras de ligação com objetivo de engastar as placas paralelas, para evitar-se descolamentos horizontais relativos entre elas (BALBO, 2009).

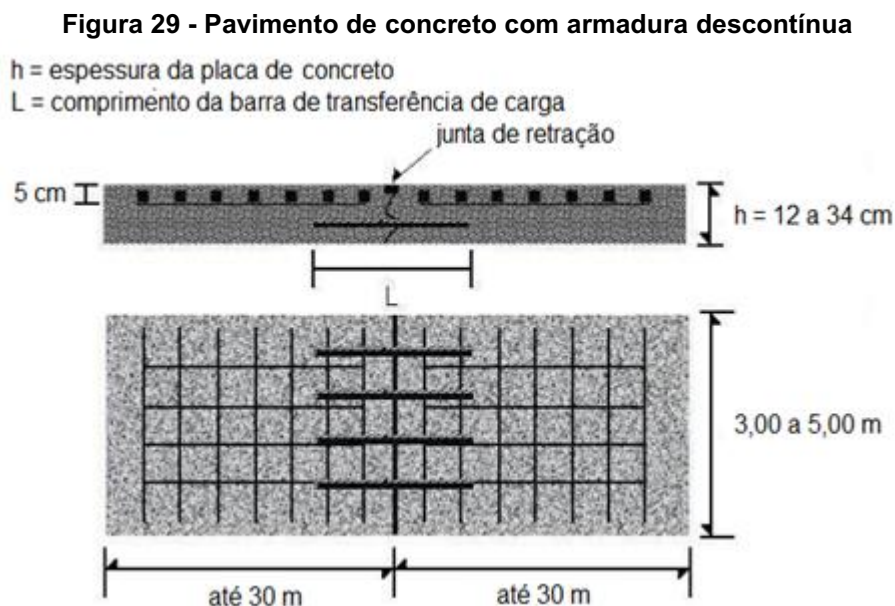
Caso se opte pelo não uso de barras de transferência entre placas, é necessário executar-se placas de menores dimensões (no Brasil, comumente da ordem de 5 a 6 m de comprimento). Se fizerem utilização destas, o comprimento das placas poderia ser ampliado para algo em torno de 9 m a 12 m, porém tais extensões, comumente, não são utilizadas em nosso país (DNIT, 2005).

Diversos tipos de concreto podem ser utilizados em sua elaboração, como o concreto convencional, o de alta resistência e o compactado à rolo (BALBO, 2009). E pode ser executado com equipamentos de alto rendimento em casos de obras com grande porte, como estradas, aeroportos, portos, marginais, entre outros, e com equipamentos de menores dimensões em empreendimentos realizados em ambiente urbano, como avenidas, corredores de ônibus, entre outros (ABCP, 2013).

### 2.7.2 Pavimento de concreto com armadura descontinuada

Conforme demonstra a Figura 29, este tipo de pavimento contém malhas de aço com função de evitar a propagação de fissuras que possam ser ocasionadas por retração térmica ou de secagem (OLIVEIRA, 2000). Essa armação, que não contribui para aumentar a resistência da placa à flexão, se encerra antes de cada junta transversal, local em que se faz necessário a utilização de barras de transferência (DNIT, 2005).

Devido ao grande comprimento desse tipo de placa, que pode atingir cerca de 30 m (embora 12 a 15 m seja o mais usual) é muito comum a formação de fissuras entre duas juntas transversais seguidas, daí dá-se a razão do uso da armação de aço, que permite mantê-las fortemente ligadas (DNIT, 2005).



Fonte: Adaptado de Viana (2018, p. 11).

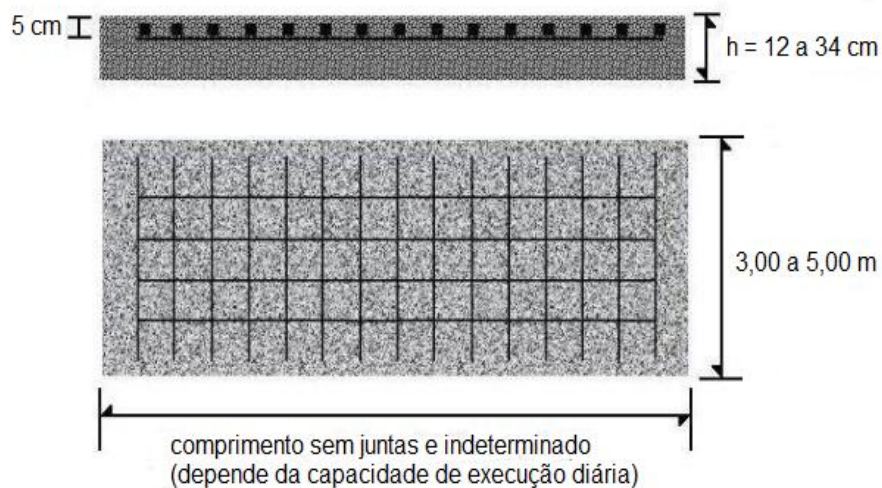
### 2.7.3 Pavimento de concreto continuamente armado

O pavimento de concreto com armadura contínua tem como característica a presença de alta taxa de armadura longitudinal localizada na porção superior da placa (Figura 30). Tal armação proporciona a ele a não necessidade de execução de juntas (SALLES, 2013).

O mesmo autor (2013) ainda afirma que ao contrário do que ocorre nos pavimentos de concreto simples, nele as fissuras acontecem de maneira aleatória, no entanto permanecem fortemente apertadas por conta da armadura, isto faz com que este tipo tenha durabilidade ainda maior.

**Figura 30 - Pavimento de concreto continuamente armado**

$h$  = espessura da placa de concreto



**Fonte: Adaptado de Viana (2018, p. 13).**

#### 2.7.4 Pavimento de concreto estruturalmente armado

Oliveira (2000) afirma que este tipo de pavimento possui duas malhas de aço (Figura 31), uma na parte superior, destinada ao controle de fissuração e empenamento, e outra na porção inferior, em que se desenvolvem as maiores tensões de tração no concreto, isso possibilita maior espaçamento entre as juntas e menor espessura da placa. Além disso, este tipo também se utiliza de barras de transferências, a fim de considerar a placa como única e de grandes proporções nos cálculos teóricos.

Em razão da disposição do carregamento em relação as juntas podem-se estabelecer as diversas tensões atuantes e, assim, armar as placas em locais específicos. Dessa forma, a capacidade estrutural do pavimento será constante, independentemente da posição da carga (ABCP, 2013).

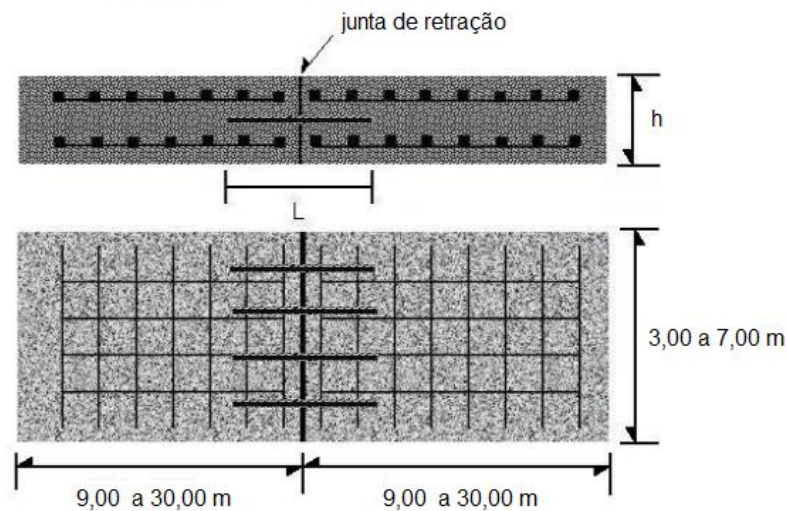
O mesmo autor (2013) acrescenta que baseado na metodologia utilizada no cálculo das tensões atuantes (cartas de influência de Pickett & Ray), ele possibilita o

emprego de espessuras menores, o que resulta em diminuição dos momentos fletores atuantes.

**Figura 31 - Pavimento de concreto estruturalmente armado**

$h$  = espessura da placa de concreto

$L$  = comprimento da barra de transferência de carga

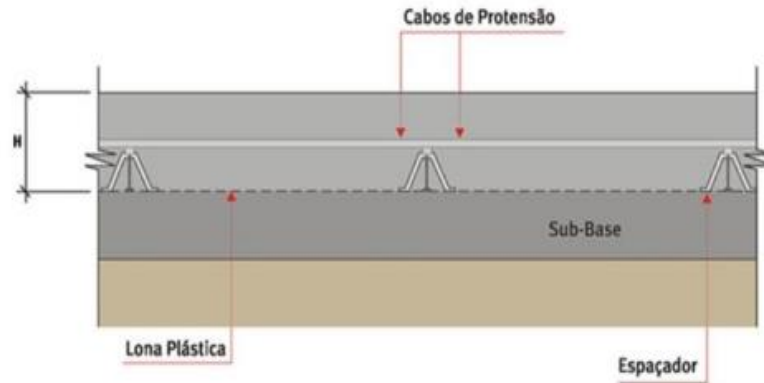


Fonte: Adaptado de Viana (2018, p. 14).

### 2.7.5 Pavimento de concreto protendido

Esse tipo de pavimento de concreto possui uma execução mais sofisticada e é utilizado em situações de tráfego pesado (Figura 32) (OLIVEIRA, 2000). É uma boa opção se desejado um excelente conforto de rolamento e juntas transversais com o máximo de distância possível, que geralmente passa dos 100 m. Sua maior utilização dá-se em pistas de pouso, de taxiamento e em pátios de aeroportos (ABCP, 2013).

**Figura 32 - Pavimento de concreto protendido**



**Fonte: Marques (2018, p. 1).**

A concepção de um pavimento de concreto protendido pode abarcar a presença simultânea de armaduras convencionais e de cordoalhas protendidas, ou apenas estas últimas. Nesse caso, realizada uma protensão prévia ou posterior nas 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 (BALBO, 2009, p. 36).

#### 2.7.6 Pavimento de concreto rolado

O pavimento de CCR é uma alternativa econômica em que o teor de cimento empregado é muito menor ao dos concretos comuns (Figura 33). É seco, de consistência dura e com trabalhabilidade suficiente para ser compactada com rolos compressores (OLIVEIRA, 2000).

**Figura 33 – Pavimento de concreto rolado**



**Fonte: Adaptado de DOC (2012, p. 5).**



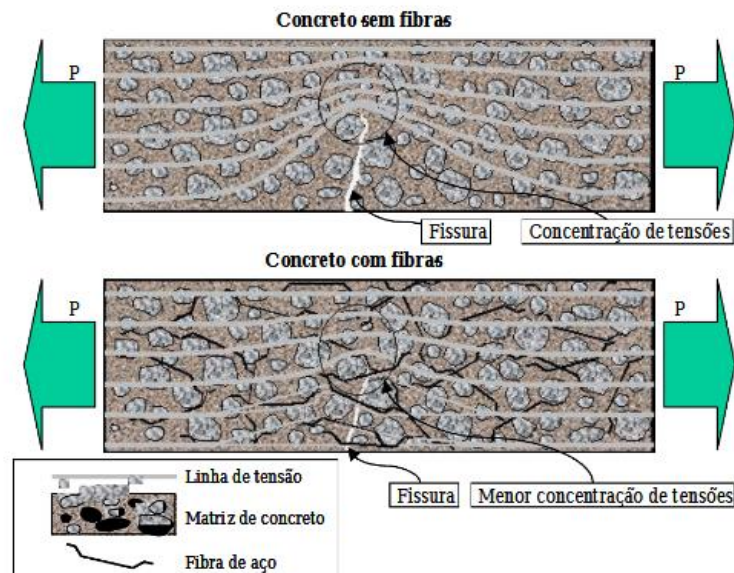
O concreto pode ser descarregado no solo e disperso por uma motoniveladora, ou pode-se realizar esses dois procedimentos de maneira direta ao utilizar-se de uma pavimentadora de asfalto ou distribuidora de agregados. A compactação dá-se com rolo simples ou vibratório (ABCP, 2013).

A ABCP (2013) complementa que ele é ideal para lugares em que o tráfego é de baixa velocidade e que suas principais aplicações se dão em rodovias vicinais, pavimentos urbanos, pátios de manobras, locais de armazenamento de produtos ou matérias primas, locais de tráfego pesado e de baixa velocidade ou sub-base para pavimentos de concreto.

### 2.7.7 Pavimento de concreto com fibras

Oliveira (2000) afirma que nada mais é do que um concreto em que se adicionou fibras capazes de melhorar algumas de suas propriedades, como a resistência a fissuras, impactos e desgaste, além de sua ductilidade (Figura 34).

**Figura 34 – Esquema da concentração de tensões para um concreto sem e com reforço de fibras**



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2008, p. 4).

Basicamente, neste tipo de concreto não há necessidade de posicionamento da armadura, visto que esta é substituída pela fibra de aço, o que facilita seu processo



de execução, além de possibilitar a redução de espessura da camada devido a maior eficiência na resistência à tração (MACIEL, 2017).

Ao se adotar fibras de grande ductilidade, como as fibras de aço, comumente o que se pretende é criar pontes de transferência de esforços entre áreas do revestimento interfaceadas por fissuras, visto que a ruptura das fibras ocorreria posteriormente ao surgimento de fissuras no concreto. Se acrescentadas em teor apropriado e com módulo de elasticidade e resistência condizentes, proporcionará uma mistura que mesmo fissurada, ainda conseguiria suportar certa deformação, garantida pela presença das fibras, o que implica um ganho de tenacidade, isto é, a ampliação da capacidade de deformação pós ruptura do concreto (BALBO, 2009; FIGUEIREDO, 2000).

#### 2.7.8 Técnicas de reabilitação de pavimentos

Apresenta-se aqui duas técnicas utilizadas para regeneração de pavimentos rígidos e flexíveis, a base de concreto: *whitetopping* e *overlay*.

##### 2.7.8.1 *Whitetopping*

É uma técnica versátil que pode ser aplicada em estradas, aeroportos, portos, ruas urbanas, corredores de ônibus, entre outros e visa recuperar pavimentos flexíveis com superfície deteriorada (Figura 35). Nela, uma camada de concreto com espessura mínima de 10 cm é aplicada diretamente sobre o revestimento antigo com qualquer estado de degradação, o que proporciona a ele um aumento de vida útil de mais de vinte anos (ABCP, 2013).

**Figura 35 – Whitetopping, método de reabilitação de pavimentos asfálticos**



Fonte: Mapa da obra (2018, p. 1).

Seu dimensionamento consiste, basicamente, em determinar o módulo de reação (coeficiente de recalque – K) do pavimento existente, que desempenhará o papel da fundação, e em seguida dimensionar a camada superposta como um o novo pavimento rígido (DNIT, 2005).

Conforme o Quadro 5, em determinadas situações é necessário realizar uma preparação prévia do pavimento existente, para sanar certos defeitos da superfície e, então, proceder com o lançamento do pavimento rígido superposto (DNIT, 2005).

**Quadro 5 – Intervenções prévias requeridas no pavimento asfáltico existente, em função do tipo de defeito**

<b>Tipo de defeito</b>	<b>Preparo prévio requerido</b>
Trilha de roda $\geq 50$ mm	Fresagem ou nivelamento
Trilha de roda $< 50$ mm	Nenhum
"Painéis"	Enchimento
Falha de subleito	Remoção / Reparação
Trincas em geral	Nenhum
Exsudação	Nenhum
Desagregação superficial	Limpeza

Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p. 180).

Particularmente para o caso brasileiro, no qual maior parte da malha viária é composta por pavimentos betuminosos, esta solução poderia oferecer maior qualidade dos pavimentos e diminuição da necessidade de manutenção rotineira (OLIVEIRA, 2000).

Um dos casos pioneiros de utilização desta técnica no país, foi a restauração, finalizada em 2000, de um trecho de quase 9 km da rodovia Porto Alegre - Osório, no

Estado do Rio Grande do Sul. Suas placas, construídas apenas em um dos sentidos, possuíam 22 cm de espessura nas três faixas de rolamento. Outro exemplo foi a restauração da Rodovia SP - 79, entre Sorocaba e Votarántim, que se difere da primeira apenas por ter sido apoiada sobre uma camada de regularização em concreto compactado à rolo de 10 cm (BALBO, 2009).

Denomina-se *inlay* as situações em que o *whitetopping* for executado de maneira a se encaixar em partes do pavimento flexível existente. Essa solução é bastante empregada na construção de corredores exclusivos de ônibus urbanos (CARVALHO, 2012). Existe também uma técnica conhecida como *whitetopping* ultradelgado, nela utiliza-se uma camada de menor espessura, limitada a 10 cm, e concreto de alta resistência que trabalha por flexão e deflexão (BALBO, 2009).

#### 2.7.8.2 *Overlay*

Para situações em que os defeitos existentes nas placas de concreto têm sua origem no dimensionamento deficiente destas, costuma-se recuperá-las mediante ao aumento da sua espessura, pela execução de uma camada superposta de concreto, à qual se denominada *overlay* (DNIT, 2005). Essa técnica é dividida em *overlay* aderido e não aderido.

##### 2.7.8.2.1 *Overlay* aderido

Utilizado para ampliar a capacidade de carga do antigo pavimento, caso este não contenha deterioração significativa, o que possibilita suportar o aumento do tráfego e esforços para o qual foi inicialmente dimensionado (CONCRETAS, 2021).

##### 2.7.8.2.2 *Overlay* não aderido

Tecnologia que permite regenerar o pavimento rígido que possui degradação acentuada, o que possibilita o aumento de sua vida útil (CONCRETAS, 2021).

## 2.8 Dimensionamento

No Brasil, o método mais utilizado para dimensionar-se estruturas de pavimentos rodoviários e urbanos em concreto é o desenvolvido pela PCA em 1984 (MEDINA, 1997). Oliveira (2000) afirma que este método acrescentou diversas melhorias em relação a versão publicada em 1966 pela mesma associação, como na área de cálculo de tensões e de projeto geométrico, devido às experiências adquiridas nas décadas que se seguiram.

O PCA/84 compila estudos teóricos a respeito do comportamento de placas de concreto, análises computacionais e laboratoriais, além de observação metódica do comportamento de suas camadas e juntas em pistas experimentais (DNIT, 2005).

Para o procedimento de cálculo, estima-se a espessura de uma placa de concreto, em que o valor da resistência é medido aos 28 dias, e em seguida verifica-se, através de ábacos e tabelas (Anexos de A ao G), se ela possui dimensão suficiente para suportar os três critérios de ruptura do pavimento que são: a fadiga, a erosão e o escalonamento (OLIVEIRA, 2000).

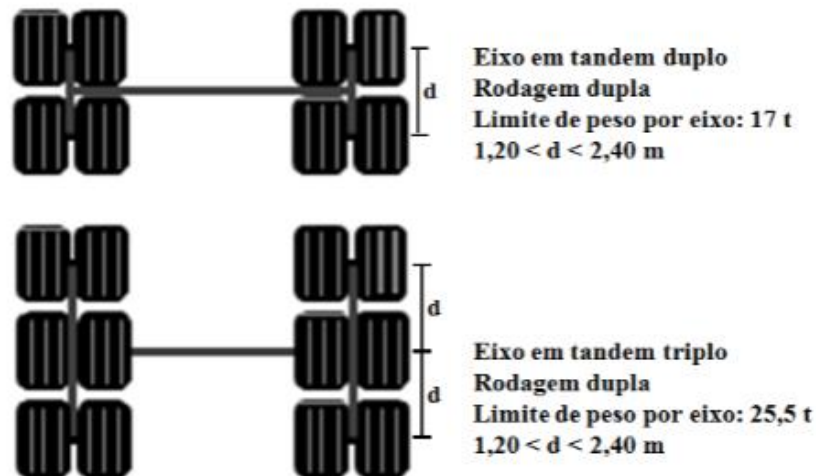
A mesma autora (2000) afirma que a fadiga é um conceito de suma importância para tal cálculo, pois esse tipo de estrutura sofre com muitas repetições do carregamento. A lei de Miner, do dano acumulado por fadiga, usada pelo método determina que a parcela de resistência à fadiga não consumida por uma certa carga fica disponível para outra utilizá-la e que o dano total é a soma final dos consumos individuais da resistência à fadiga. Com ela é possível calcular o dano total ao qual o pavimento foi submetido. O cálculo da tensão máxima considera que o eixo solicitante está localizado na tangente à borda longitudinal da placa, apesar de saber-se que apenas 6% dos caminhões costumam trafegar naquele local, isso aumenta a segurança da estrutura.

A erosão é a perda de material da camada logo abaixo do concreto, além da degradação dos cantos da placa e de suas juntas, por ação da água aliada a passagem de cargas pesadas (RODRIGUES, 2011).

Os danos por erosão são causados principalmente pelos eixos tandem (Figura 36), e tem como influência direta fatores climáticos locais e a eficiência dos sistemas de drenagem (OLIVEIRA, 2000). Ele correlaciona os valores calculados das deformações verticais do canto da placa e as pressões verticais exercidas na interface

entre a placa e a fundação (RODRIGUES, 2011). Principalmente se estas não possuírem barras de transferência (DNIT, 2005).

**Figura 36 - Eixos em tandem duplo e triplo**



Fonte: Adaptado de Garbin (2014, p. 26).

Já o escalonamento está embutido no modelo de ruína e consiste na formação de degraus nas juntas transversais, o efeito é reduzido se as juntas forem feitas de maneira eficiente, como, por exemplo, ao adotar-se barras de transferências que auxiliam na diminuição da deformação das placas de concreto e repassam a carga vertical entre elas (OLIVEIRA, 2000).

### 2.8.1 Processo executivo

Neste tópico será detalhado o processo de execução de um pavimento feito em concreto simples, feito com pavimentadora de formas deslizantes, com utilização de barras de transferência, além de sub-base confeccionada em concreto compactado à rolo.

### 2.8.1.1 Etapa 1 - Execução do subleito e sub-base

Inicia-se com a preparação do leito da rodovia através da retirada de toda vegetação e material orgânico porventura existentes, após isso realiza-se a execução de cortes, aterros e adição do material necessário para atingir o greide de projeto, e então deve-se proceder à escarificação geral na profundidade de 20 cm, seguida de pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento (DNIT, 2010).

Concluído a operação de preparo do subleito, este será testado por meio de provas de carga para determinação do coeficiente de recalque (K), por meio de ensaios de índice de Suporte Califórnia, a partir dos quais será avaliado o coeficiente de recalque por meio de curvas de correção através de ábaco (ABCP, 2021).

O passo seguinte é dar início a sub-base com a elaboração de uma camada de concreto compactado à rolo em que o concreto constituinte é descarregado na vibroacabadora ou diretamente no solo com o uso de uma motoniveladora, e então, é realizado sua compactação e cura com pintura de emulsão asfáltica (Figura 37) (ABCP, 2011; CAMPOS, 2019).

**Figura 37 – Concreto compactado à rolo pintado com pintura betuminosa**



Fonte: IBRACON (2016, p. 38).

Durante o processo de execução o CCR tem sua espessura e resistência à compressão verificadas para garantir as especificações pré-determinadas (ABCP, 2011). Inicia-se então a preparação da sub-base para receber o concreto, isto é, verifica-se a necessidade de realização de limpeza e correção de eventuais imperfeições dessa superfície, para assim, evitar-se corrigi-las através de aumento da espessura do revestimento, afinal, por utilizar mais cimento, tem um custo de produção mais elevado. É fundamental molhar a sub-base, principalmente em dias de calor muito intenso, para que o concreto da laje não perca água para ela, uma

alternativa bastante empregada é o posicionamento de uma lona plástica entre essas duas camadas com o mesmo fim (ABCP, 2021).

Cabe destacar que como as pavimentadoras são equipamentos pesados, é importante verificar se a condição de suporte das laterais da pista (trajeto feito por suas esteiras) é suficientemente resistente. Geralmente é feita uma extensão da sub-base para que as máquinas consigam passar tranquilamente, sem sofrer recalques que poderiam causar irregularidades no pavimento (ABCP, 2021).

#### 2.8.1.2 Etapa 2 - Execução do pavimento de concreto

Feitos o subleito e a sub-base, passa-se para a etapa de execução do pavimento. O concreto empregado é produzido em uma central informatizada e de elevada capacidade de produção, que pode ser transportável, o que a permite acompanhar a obra conforme esta progride de maneira próxima ao canteiro de obras. É necessário que essa usina seja dosadora e misturadora, pois o tipo de veículo mais utilizado, que são os caminhões basculantes, não fazem a mistura do concreto durante o transporte. A cada carga de concreto, é realizado seu controle tecnológico (ABCP, 2011).

O tempo máximo entre a dosagem e o lançamento do concreto deve ser de 90 minutos em caso de uso de caminhão betoneira, e apenas 30 minutos para caminhão basculante, no entanto este tempo pode ser estendido com emprego de aditivos (ABCP, 2021).

O pavimento pode ser executado com equipamentos de pequeno porte como, treliças e régua vibratórias, ou uso de rolo simples vibratórios, ou com equipamentos intermediários (fôrma-trilho) que, por serem autopropelidos, possuem movimentação e produtividade maior que os mencionados anteriormente, uma vez que contam com elementos de acabamento que facilitam os processos de execução. Eles correm sobre trilhos e possuem rolo vibratório para fazer o acabamento superficial, além de ter uma bateria de vibradores na dianteira, que fazem o adensamento do concreto, porém ainda necessitam de formas fixas (ABCP, 2021).

Os equipamentos de grande porte possuem formas deslizantes, comprimento de até 20 m (no Brasil, os maiores em utilização possuem cerca de 11 m) e quase 40 toneladas. Por terem alta performance, visto que produzem cerca de 1 km de pista

por dia, demandam de grande alimentação de concreto somente atendida através do uso de caminhões basculantes. Elas fazem a distribuição uniforme e homogênea do concreto antes da vibração, que facilita o adensamento das camadas por proporcionar maior constância. Seus vibradores têm uma frequência muito acima daquelas proporcionadas pelos adensadores manuais e cumprem esta etapa com maior efetividade. Por conta de todas essas vantagens, eles permitem redução de mão de obra de acabamento e de operação e, conseqüentemente, do custo total da obra se comparado à equipamentos de menor porte (ABCP, 2021).

Na obra, uma equipe de topógrafos define o alinhamento e nivelamento da máquina pavimentadora através das linhas guias que são assentadas nas bordas longitudinais do pavimento a ser concretado. Elas são instaladas sobre um gabarito metálico, esticadas e tencionadas horizontalmente. A distância entre os gabaritos não deve ultrapassar 6 m para que não ocorra formação de flechas nas linhas, uma vez que elas servem de referência para os sensores da pavimentadora, compostos por hastes horizontais que fornecem o nivelamento e verticais que controlam a direção e, conseqüentemente, irá transmitir essa deformação para o pavimento. Existe também um sistema de GPS, que pode ser acoplado à máquina para automatização dessa etapa, como o que foi empregado na obra da BR - 163, no trecho entre Cascavel e Mamelândia (ABCP, 2011; ABCP, 2021; CAMPOS, 2019).

As barras de transferência, que são feitas em aço liso (CA - 25), são montadas *in loco* e posicionadas manualmente (Figura 38). Já as barras de ligação, feitas em aço corrugado, geralmente do tipo CA - 50, são colocadas pela pavimentadora (Figura 39) (ABCP, 2011; CAMPOS, 2019). Coloca-se graxa em, ao menos, metade e mais 2 cm das barras de transferência para evitar-se corrosão, além disso, um lado é fixado na estrutura de aço feita para o correto alinhamento na linha neutra da placa, e o outro, com graxa, apenas apoiado para permitir a livre movimentação junta. A fixação das barras de transferência é feita uma a uma, pois o caminhão precisa chegar perto da pavimentadora para descarregar o basculante. O correto posicionamento das barras é um dos itens vitais para qualidade e funcionamento do pavimento (ABCP, 2021).



**Figura 38 – Posicionamento das barras de transferências**



Fonte: Campos (2019, p. 22).

**Figura 39 – Colocação das barras de ligação**



Fonte: Souza (2019, p. 20).

O descarregamento do concreto é feito com ajuda de escavadeira, pois ela consegue quebrar a tensão superficial do concreto, para que ele possa ser basculado sem risco de tombamento do caminhão (Figura 40). A alimentação da vibroacabadora deve ser realizada de maneira contínua, para assim evitarem-se paradas do equipamento que podem fazer com que os fluídos se desloquem e ocorra seu assentamento e, conseqüentemente, irregularidades superficiais conhecidas como *Bumps*. Nessas situações é preferível desacelerá-la à fazer paradas abruptas (ABCP, 2021; CAMPOS, 2019). O concreto lançado não deve exceder altura duas vezes maior do que a espessura da placa, acima disso dificultaria o deslocamento da máquina, uma vez que a pavimentadora apenas espalha e conforma o concreto, não o empurra, e se o tiver que fazer, provavelmente irá causar imperfeições e perda de qualidade da superfície do pavimento devido aos esforços adicionais realizados por ela (ABCP, 2021).

**Figura 40 – Descarregamento do concreto**



**Fonte: Souza (2019, p. 18).**

Tal máquina dará forma à camada de rolamento, ao promover o nivelamento e a pré-compactação dela (Figura 41) (ABCP, 2011). O resultado é uma camada de concreto solta, contínua, homogênea e de altura constante. Quanto mais se adensar o concreto melhor, pois menos ar na mistura resultará em maior resistência. Estima-se que para cada 1% de ar aprisionado, reduz-se a resistência entre 5 e 6% (ABCP, 2021).

**Figura 41 – Revestimento após passagem de pavimentadora na BR - 163 (SC)**



**Fonte: Estradas (2022, p. 1).**

Caso for trabalhar com um pavimento de largura considerável, é bom utilizar-se de ponte de serviço para que seja possível corrigir eventuais falhas que aconteçam no meio deste pavimento sem precisar danificá-lo (ABCP, 2021).

O desempenamento da superfície, com finalidade de aferir a planicidade e corrigir eventuais irregularidades na superfície do pavimento, é realizado primeiramente de forma mecânica (Figura 42), por meio de uma desempenadeira localizada na região traseira da pavimentadora (ABCP, 2021; CAMPOS, 2019).

**Figura 42 – Acabamento mecanizado**

Fonte: ABCP (2022, p. 20).

Neste momento é indispensável o uso de régua para acompanhamento do nivelamento do pavimento. Caso seja identificada alguma irregularidade, usa-se o rodo de corte para corrigi-las e em seguida passam-se as desempenadeiras manuais para corrigir a porosidade superficial da pista (Figura 43) (ABCP, 2021).

**Figura 43 – Utilização do rodo de corte**

Fonte: Campos (2019, p. 43).

Imediatamente após a fase de acabamento do concreto, deve ser realizada a texturização da superfície, que proporcionará melhora na aderência, isto é, maior atrito entre o rolamento e os pneumáticos (ABCP, 2011). Além disso, esse processo auxilia a drenagem através dos microcanais criados, que direcionam a água da superfície mais rapidamente para fora da pista (CAMPOS, 2019). Pode ser feita manualmente, com utilização de vassoura de piaçava (Figuras 44 e 45), ou mecanicamente, com um pente de fios duros que executará as ranhuras no sentido transversal à pista (Figura 46) (BALBO, 2009; CURTI, 2019).

**Figura 44 – Texturização manual com auxílio de passarela de serviço**



Fonte: Souza (2019, p. 23).

**Figura 45 – Aspecto superficial após texturização com vassoura de piaçava**



Fonte: Adaptado de Balbo (2009, p. 167).

**Figura 46 – Texturização mecanizada**



Fonte: ABCP (2022, p. 20).

O processo seguinte, realizado imediatamente após a texturização, é o de cura do concreto, que é essencial para garantir a resistência e a longevidade da laje (ABCP, 2011; ABCP, 2021). Ela promove a hidratação das partículas de cimento, o que permite que suas reações químicas ocorram de forma adequada. Consiste no controle da temperatura e da entrada e saída de umidade da mistura, o que evita a perda de água para a superfície (ABCP, 2021; CURTI, 2019).

Ela pode ser feita com método químico, de forma manual (Figura 47) ou mecanicamente (Figura 48), em que se utiliza material selante como filme plástico ou

papel reforçado para criar uma membrana que retarda a perda de água por evaporação (Figura 49), o que, conseqüentemente, promove a hidratação do concreto e minimiza a retração plástica, ou através da cura úmida, por meio de mantas que retêm a água, de imersão (ou piscina) ou de névoa (ou aspersão) (CURTI, 2019). Na pavimentação de estradas, o mais comum é cura química, uma vez que as lajes são bastante extensas (ABCP, 2021). A taxa de aspersão do produto de cura química é estabelecida por dados fornecidos por uma estação meteorológica portátil (ABCP, 2011).

**Figura 47 – Cura química realizada manualmente**



Fonte: Curti (2019, p. 33).

**Figura 48 – Cura química realizada mecanicamente**



Fonte: Curti (2019, p. 38).

**Figura 49 – Membrana gerada pela aplicação do selante**



Fonte: Curti (2019, p. 34).



O controle tecnológico do concreto é constante e pode ser realizado em um laboratório móvel que acompanha a obra (ABCP, 2011). O conforto do rolamento pode ser verificado com a utilização do Perfilógrafo do tipo Califórnia (Figura 50), esse equipamento permite aferir a irregularidade longitudinal de pavimentos em etapa de construção. Ele é dotado de uma roda sensora, localizada no meio da estrutura, livre para movimentar-se verticalmente, esses movimentos são captados por um transdutor e um odômetro e enviados a um computador que grava os desvios do plano de referência e traça o perfil do pavimento, o que permite a identificação com precisão das áreas que necessitam de reparo (CURTI, 2019). Caso o índice de perfil do pavimento for maior do que o aceitável, que seriam 240 mm por quilômetro, é feito microfresagem do concreto para retirada dos pontos mais críticos até atingir-se o conforto admissível para o rolamento (ABCP, 2021).

**Figura 50 – Perfilógrafo Califórnia em operação no Rodoanel Metropolitano de São Paulo - Trecho Sul**



Fonte: IBRACON (2012, p. 83).

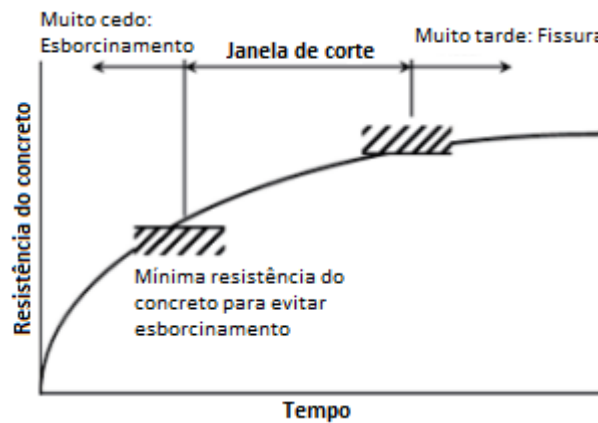
### 2.8.1.3 Etapa 3 - Corte e selagem das juntas

A junta nada mais é do que um corte para induzir a fissuração no local desejado, uma vez que tal fissuração inevitavelmente ocorreria por conta dos efeitos do clima na placa, que durante o dia à faz ficar com formato convexo, por conta do gradiente térmico positivo e, durante o período noturno, com formato côncavo, devido ao gradiente negativo (ABCP, 2021). Na sua execução, a seção de concreto localizada abaixo dela fica enfraquecida e se torna o ponto mais vulnerável do pavimento, isto é, o local mais propício ao surgimento de possíveis patologias que venham a afetar a sua resistência e durabilidade (OLIVEIRA, 2008).

Elas permitem a movimentação das placas devido a variação térmica ambiental que causa a retração e a dilatação, sem que promovam danos umas às outras. A parte superior das juntas sofre um alargamento que é preenchido com um corpo de apoio e material selante capazes de absorver a movimentação das placas, com função de impedir a penetração de água da chuva, e evitar-se, assim, esborcinamentos (ABCP, 2011).

O momento ideal para a realização do corte é assim que o concreto suportar o peso do equipamento e do operador, ou assim que a resistência permitir que o corte fique justo, sem rebarbas ou quebras, normalmente entre 8 e 12 horas após a concretagem (Figura 51) (ABCP, 2021).

**Figura 51 – Janela de corte teórica para corte das juntas transversais**



Fonte: IBRACON (2012, p. 45).

As placas de concreto semi-endurecidas são serradas com emprego de serra de disco diamantado, em pontos definidos para criação das juntas no sentido transversal à pista, estas possuem 3 mm de largura e profundidade que varia entre 1/3 e 1/4 da espessura da placa (Figura 52) (CAMPOS, 2019). O corte transversal é realizado de maneira a sempre dividir as placas geradas o mais próximo de seu meio, para assim, diminuir-se sua tensão. Deve-se realizar, também, o corte longitudinal. O ideal é ter-se mais do que uma máquina de corte disponível, pois é fundamental realizar o corte no momento correto (ABCP, 2021).

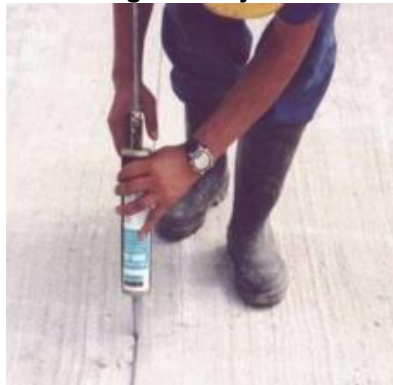
**Figura 52 – Serragem da laje de concreto**



Fonte: IBRACON (2012, p. 45).

Depois disso, é realizada a limpeza da junta com ar comprimido e ferramentas específicas, para então, fazer-se sua selagem (Figura 53). O mais adequado é a utilização de selante à base de silicone à frio, pois este tem maior durabilidade. O selante, normalmente, é colocado um pouco abaixo da superfície para evitar-se que a movimentação do pavimento o faça emergir e ser retirado pelo tráfego (ABCP, 2021).

**Figura 53 – Selagem das juntas transversais**



Fonte: Souza (2019, p. 28).

#### 2.8.1.4 Etapa 4 - Sinalização

Por fim, são pintadas faixas de sinalização, para que, enfim, o pavimento possa receber o tráfego (Figura 54) (ABCP, 2011). Normalmente a liberação para o tráfego ocorre assim que a resistência do concreto atinge cerca de 70% da prevista em projeto, o que em concretos dimensionados para os 28 dias daria algo em torno de 7 dias. Porém, esse período pode variar para menos ou mais a depender do cimento utilizado (ABCP, 2021).



**Figura 54 – Sinalização**



**Fonte: Sinalisa (2022, p. 1).**

## **2.9 Defeitos**

Nesta seção, são apresentados os defeitos mais comumente encontrados nos pavimentos rígidos. Geralmente eles estão relacionados ao uso de materiais e técnicas de execução inadequados, somados ao descaso na realização da manutenção de rotina necessária para evitar a precarização da estrutura (DNIT, 2010).

Com tendência de piorar com o tempo, a gravidade dessas imperfeições do pavimento depende de fatores como dimensão, condição e impacto que tal deformidade trará à segurança, conforto e escoamento do tráfego (DNIT, 2004).

Nesse método construtivo observa-se com maior frequência a presença de defeitos localizados, por razões específicas, como a degradação constante em todo trecho construído, que decorre de deficiências de projeto ou de processo de fadiga do concreto, conforme se aproxima do final da vida útil do revestimento (DNIT, 2005).

Faz-se indispensável as inspeções visuais e posterior estabelecimento de índices de serventia ou avaliativo das condições de uso dos pavimentos para estimar sua vida útil e definir épocas e locais para realização dos reparos, reforços ou reconstrução, para assim, ampliar sua durabilidade e mantê-lo em condições favoráveis de tráfego (DNIT, 2005).

### 2.9.1 Alçamento de placas

Trata-se de um desnivelamento da laje em junções ou fissuras transversais, as vezes ocorre junto a canaletas de drenagem e obstáculos fixos ou em intervenções feitas no pavimento (Figura 55) (DNIT, 2010).

Tal defeito é consequência da pressão de esmagamento de uma placa contra a outra em juntas solicitadas em demasiado por esforços horizontais (BALBO, 2009).

**Figura 55 – Alçamento**



**Fonte: Carvalho (2016, p. 31).**

### 2.9.2 Bombeamento

Este fenômeno ocorre durante a passagem das cargas solicitantes sob as juntas transversais de retração ou nas proximidades das juntas longitudinais. Consiste no arrastamento de finos plásticos que constituem a camada inferior à laje, para fora da cobertura de concreto através das juntas, bordas ou trincas, por ação da água (Figura 56) (MAIA, 2012).

Maia (2012) acrescenta que a causa se deve à má transferência de cargas, presença de água em cima da laje ou de materiais que podem ser erodidos na base. Inicialmente faz com que a fundação amoleça, depois promove o deslocamento no local afetado (DNIT, 2010).

**Figura 56- Bombeamento**



Fonte: Maia (2012, p. 24).

### 2.9.3 Falha na selagem das juntas

Essa tem sido a patologia mais comum nos pavimentos de concreto. Caracteriza-se por qualquer defeito no material de vedação que comprometa a estanqueidade da junta ou permita o acúmulo de materiais incompreensíveis para tal local (Figura 57) (DNIT,2010).

Os fatores que motivam o aparecimento dessas falhas são, usualmente, a baixa vida útil do produto, que provoca comprometimento precoce do mesmo, além da má qualidade ou inadequabilidade do selante e falha na execução da selagem (MAIA, 2012).

**Figura 57 – Falha na selagem das juntas**



Fonte: Carvalho (2016, p. 28).

#### 2.9.4 Desnível entre rolamento e acostamento

“É o degrau formado entre o acostamento e a borda do pavimento, geralmente acompanhado de uma separação dessas bordas.” (Figura 58) (DNIT, 2010, p. 31).

Na maior parte das ocorrências o problema decorre de um defeito construtivo por falha de nivelamento (BALBO, 2009).

**Figura 58 – Desnível rolamento-acostamento**



Fonte: Balbo (2009, p. 418).

#### 2.9.5 Fissuras de canto

Conforme demonstra a Figura 59, é a fenda que intercepta as juntas a uma distância menor ou igual à metade do comprimento das bordas ou juntas do pavimento (longitudinal e transversal), se medida desde sua quina. Esta fissura geralmente atinge toda a grossura da placa (DNIT, 2010).

“Estão associadas ao vencimento da resistência por fadiga do concreto na região ou a espessura insuficiente de placa em relação ao tráfego real.” (BALBO, 2009, p. 415).

**Figura 59 – Fissura de canto**



Fonte: Adaptado de DNIT (2010, p. 29).

#### 2.9.6 Placa dividida

Situação em que a placa é dividida em três ou mais partes, ou uma região específica do concreto é subdividida em pedaços (Figura 60). Essa patologia usualmente está associada ao surgimento preliminar de fissuras em diversos sentidos (transversal, diagonal, longitudinal) (BALBO, 2009).

Suas causas podem advirem de deficiências no suporta da fundação do pavimento, subdimensionamento da laje, ou fadiga do concreto (DNIT, 2010).

**Figura 60 – Placa dividida**



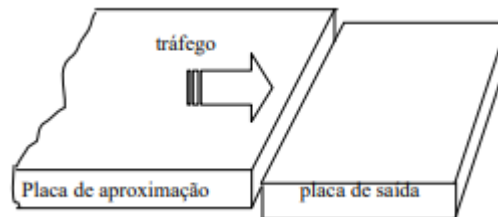
Fonte: DNIT (2010, p. 30).

#### 2.9.7 Escalonamento nas juntas

“Defeito em que duas placas sucessivas não estão niveladas nas juntas, o que causa um degrau, bastante inconveniente ao rolamento dos veículos.” (Figura 61) (BALBO, 2009, p. 418).

Esse problema costuma ser originado pela deficiência dos dispositivos capazes de garantir esta transmissão de carga nas juntas, tais como barras de transferência, ou por deficiência na sub-base ou no dimensionamento de placas de dimensões curtas, aliada à solicitação por veículos pesados (DNIT, 2010).

**Figura 61 – Escalonamento das juntas**



Fonte: DNIT (2010, p. 30).

### 2.9.8 Buracos

Formados pela evolução de outros defeitos, como fissuras profundas, lascamento, escamação, corrosão da superfície ou através do uso de concreto de má qualidade (Figura 62) (DNIT, 2010).

O concreto, a base e o subleito sofrem gradativamente com recalque ou mesmo com a perda da cobertura, arrancada por ação dos veículos (BALBO, 2009). Surgem-se então reentrâncias côncavas na superfície da laje, com área e profundidade definidas (DNIT, 2010).

**Figura 62 - Buraco**



Fonte: Carvalho (2016, p. 30).

### 2.9.9 Assentamento

Formação de grandes ondas na superfície do concreto por conta do afundamento do pavimento. Ocorre por falha na elaboração da sub-base ou por deficiência de uniformidade do suporte da fundação (Figura 63) (DNIT, 2010).

**Figura 63 - Assentamento**

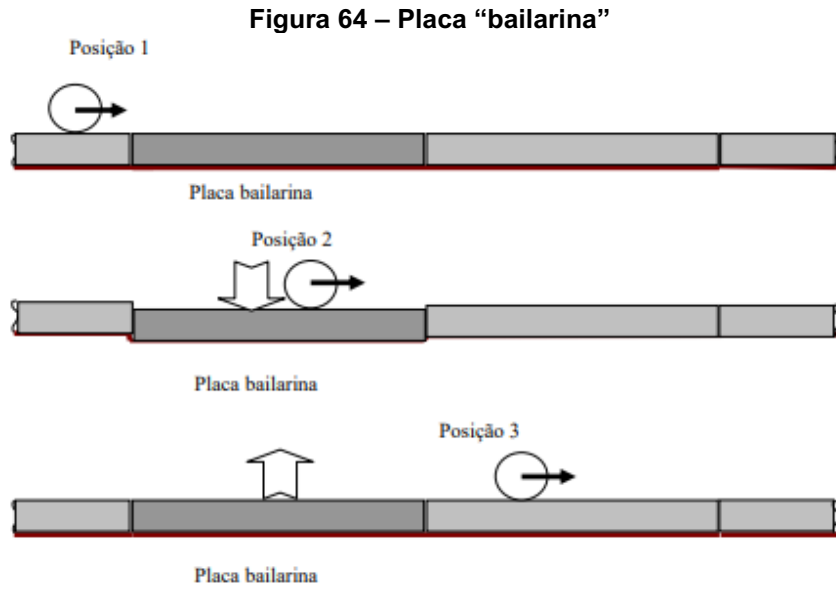


**Fonte: Carvalho (2016, p. 32).**

### 2.9.10 Placa “bailarina”

É caracterizada pela notória movimentação vertical da placa de concreto assim que solicitada pelo tráfego, especialmente na região das ligações (Figura 64). É motivada por perdas em pontos específicos ou generalizadas do suporte da fundação, somado a juntas ineficientes e à ação do tráfego pesado (DNIT, 2010).

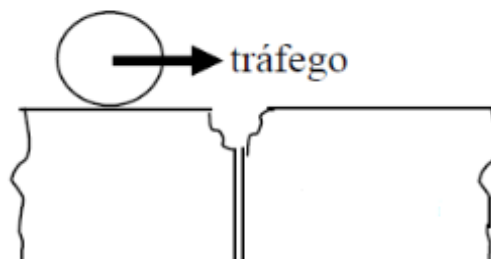




### 2.9.11 Esborcinamento das juntas

É a quebra das bordas da laje na região das juntas (Figura 65). Esse desgaste não chega a atingir completamente a espessura do concreto e limita-se a 60 cm de extensão. Usualmente ocorre por conta da introdução involuntária de materiais indesejados nas juntas, deformação precoce ou serragem prematura da ligação (DNIT, 2010).

**Figura 65 - Esborcinamento das juntas**



Fonte: DNIT (2010, p. 33).



### 2.9.12 Esborcinamento de canto

São quebras que surgem nas quinas da laje assim como nas fissuras de canto, com a diferença de que na primeira a interceptação da junta se dá em um determinado ângulo (em forma de cunha) (Figura 66). Sua causa dá-se por desmolde feito de maneira ríspida, ou antecipado, em que o concreto ainda se encontra com resistência insuficiente (DNIT, 2010).

**Figura 66 – Esborcinamento de canto**



Fonte: DNIT (2010, p. 33).

### 2.9.13 Fissuras lineares

São rachaduras que atingem toda a espessura da cobertura e a divide em duas ou mais partes (DNIT, 2010):

#### 2.9.13.1 Fissuras transversais

Ocorrem na direção da largura da placa, perpendicular ao lado de maior comprimento dela (Figura 67). Usualmente provocadas por retração hidráulica, essas imperfeições surgem após o endurecimento do concreto (DNIT, 2010).

**Figura 67 – Fissura transversal**



Fonte: DNIT (2004, p. 6).

#### 2.9.13.2 Fissuras longitudinais

Acontecem ao longo do maior lado da laje, paralela ao eixo longitudinal do pavimento (Figura 68). Podem ser causadas por largura excessiva da placa, empenamento da mesma no sentido transversal, entre outros (DNIT, 2010).

**Figura 68 – Fissura longitudinal**



Fonte: DNIT (2004, p. 6).

#### 2.9.13.3 Fissuras diagonais

Percorrem a placa até uma distância maior do que metade do comprimento das bordas, com desenvolvimento oblíquo (Figura 69). São motivadas por falha no suporte da fundação, ou resultantes do aparecimento de rachaduras nos dois sentidos simultaneamente (DNIT, 2010).

**Figura 69 – Fissura diagonal**



Fonte: DNIT (2004, p. 7).

#### 2.9.14 Desgaste superficial

Se caracteriza pelo desalojamento da argamassa próxima ao topo da placa, que acaba por expor os agregados lisos e polidos na superfície (Figura 70) (BALBO, 2009).

Dá-se pela aplicação de concreto de baixa qualidade, de água sobre o rolamento, exagero de dosagem de água na mistura do concreto, entre outros (DNIT, 2010).

**Figura 70 – Desgaste superficial**



Fonte: DNIT (2004, p. 8).

### 2.9.15 Quebra localizada

É o desprendimento de pedaços de concreto usualmente localizados entre uma trinca e uma junta ou entre duas trincas com distâncias estimadas de 1,5 m ou menos (Figura 71) (DNIT, 2010).

**Figura 71 – Quebra localizada**



Fonte: DNIT (2004, p. 9).

### 2.9.16 Passagem de nível

É a formação de saliências ou rebaixamentos próximos aos trilhos, devido a erros de projeto ou execução (Figura 72) (DNIT, 2010).

**Figura 72 – Passagem de nível**



Fonte: Zangerolamo (2015, p. 25).

### 2.9.17 Fissuras de retração plástica

São rachaduras curtas e pouco profundas que surgem de maneira esporádica em ângulos de  $45^\circ$  a  $60^\circ$  junto a maior borda da placa (Figura 73) (DNIT, 2010).

“Esse fenômeno está associado ao uso de água na mistura durante a fase inicial de hidratação dos ligantes hidráulicos, e é caracterizado pela perda de água da massa para o ambiente, o que se relaciona com as condições climáticas.” (BALBO, 2009, p. 77).

**Figura 73 – Fissuras de retração plástica**



Fonte: Carvalho (2016, p. 15).

### 2.9.18 Fissuras superficiais e escamação

São fissuras capilares que ocorrem somente na superfície do concreto, geralmente conectam-se em ângulos de  $120^\circ$  (Figura 74) (DNIT, 2010).

O mesmo autor (2010) complementa que a escamação se caracteriza pelo descolamento da superfície fissurada que, geralmente, advém do desgaste dela.

**Figura 74 – Fissura superficial**



Fonte: DNIT (2004, p. 9).

### 2.9.19 Remendos

“Remendos são correções de defeitos que já existiam; contudo, remendos de más qualidades podem apresentar uma série de inconvenientes (como fissuras nos cantos e afundamentos), prejudicando a qualidade de rolamento.” (BALBO, 2009, p. 419).

#### 2.9.19.1 Pequenos reparos

É assim considerado se a área consertada, por meio de remoção e posterior preenchimento, for menor ou igual a 0,45 m<sup>2</sup> (Figura 75) (DNIT, 2010).

**Figura 75 – Reparo pequeno**



**Fonte: DNIT (2004, p. 8).**

#### 2.9.19.2 Grandes reparos

Considera-se remendo grande se a área removida para posterior preenchimento for superior a 0,45 m<sup>2</sup> (Figura 76) (DNIT, 2010).



**Figura 76 – Reparo grande**



Fonte: DNIT (2004, p. 7).

## **2.10 Comparação entre pavimento rígido e flexível**

Este tópico visa comparar o pavimento rígido ao betuminoso em características como a manutenção, segurança, construção, desempenho, custos e sustentabilidade.

Nele, pondera-se as características tidas como mais vantajosas, ou não, ao usuário ou construtor, proporcionadas cada uma das tecnologias.

### **2.10.1 Manutenção**

O concreto demanda pouca manutenção rotineira. Somente após 20 anos é necessário reforço ou uma intervenção mais pesada nele, e, esta utiliza-se de equipamentos simples. O pavimento flexível, que tem vida útil de cerca de 10 anos, necessita de intervenções rotineiras de custo elevado como reforço ou recapeamento a partir do quinto ano, além de substituições constantes e remendos, estes geralmente feitos de maneira inadequada, o que torna a superfície irregular (MESQUITA, 2001; OLIVEIRA, 2000; VALLEJO, 2019).

A maior durabilidade dos pavimentos rígidos, se comparado à alternativa flexível, implica em menor demanda de intervenções que, além de gerarem resíduos sólidos, eventualmente contribuem para formação de congestionamentos que podem provocar maior consumo de combustíveis e emissões de gases poluentes (ABCP, 2022).

### 2.10.2 Segurança

O concreto proporciona maior visibilidade horizontal, além de melhor controle do veículo por necessitar de menor inclinação do rolamento, devido a sua boa capacidade de escoamento de água. Os pavimentos betuminosos possuem o escoamento prejudicado por conta da porosidade, que retém a água e faz sua superfície, que já é lisa, ficar ainda mais escorregadia o que compromete sua segurança à derrapagem (MESQUITA, 2001).

Desse semelhantemente a isso, o pavimento rígido possibilita sua texturização, que elimina o fenômeno da aquaplanagem pois desmembra a lâmina milimetrada de água formada sobre o pavimento, isso ajuda no controle também na frenagem do veículo (MOSCHETTI, 2015). Além disso, o pavimento de concreto, por não sofrer deformação plástica, afundamentos e trilhas de rodas, promove maior estabilidade do veículo (ABCP, 2022).

### 2.10.3 Construção

O pavimento de concreto possui menos camadas já que não se utiliza base e tem rapidez em sua execução por ser dosado em central, além de mão de obra abundante pela não necessidade de especialização. O pavimento asfáltico possui múltiplas camadas, o que gera maior quantidade de escavação e movimento de terra, além disso, ele necessita de equipamentos complexos, porém, tem maior diversidade de serviços (MESQUITA, 2001).

ABCP (2022) complementa que a execução da estrutura necessária para que a técnica betuminosa atenda os esforços solicitados pelo tráfego, também resulta em maior agressão ao meio ambiente e maior consumo de agregados a serem extraídos da natureza.



#### 2.10.4 Desempenho

Diferentemente do concreto, o pavimento flexível é fortemente afetado por produtos químicos, óleos e intempéries. Sua sensibilidade à altas temperaturas gera o amolecimento do material, ademais, ele possui baixa distribuição de cargas. Essas características contribuem para o aparecimento de deformações, trilhas de rodas e buracos, que pode reduzir sua vida útil a menos de 10 anos, enquanto o concreto por ser mais resistente consegue durar por mais de 20 anos (MESQUITA, 2001).

Por conta de sua rugosidade, o pavimento flexível consegue manter as demarcações da pista, aplicadas em alta temperatura, por um período até 30 vezes maior que na técnica rígida (BIANCHI; BRITO; CASTRO, 2008).

#### 2.10.5 Custos das matérias primas

Conforme ANP e CBIC (2020 *apud* DECONCIC, 2021) os preços dos cimentos asfálticos ficaram estáveis por longo período, entre janeiro de 2007 e setembro de 2014, momento a partir do qual os produtos sofreram reajustes intensos. Entre setembro de 2014 e fevereiro de 2017, os preços aumentaram 66%, e de 2017 até 2019 a elevação foi de 108% (CNT, 2019).

Enquanto isso, entre 2007 e 2014, houve uma elevação dos preços do cimento e do concreto em cerca de 6% ao ano. Porém, as quedas de demanda ocorridas a partir de 2014 levaram a uma estabilização de seus valores e posterior baixa de preços em 2015. A razão entre o preço do concreto e do asfalto, e do cimento e do asfalto, caiu, respectivamente, para 47,8 e 50,3%, ao se comparar a média observada em 2018 com a de 2014. Isso ocasionou o barateamento da alternativa de pavimentação rígida em comparação a betuminosa (CBIC, 2020 *apud* DECONCIC, 2021).

Um exemplo disso é a obra de duplicação da BR - 230, entre Campina Grande e Farinha, na Paraíba, com uma extensão de 40 quilômetros, na qual seu anteprojeto, que previa o emprego de pavimento flexível, com o orçamento referencial de R\$ 514 milhões, foi alterado para que fosse feito o uso de pavimento rígido após constatado

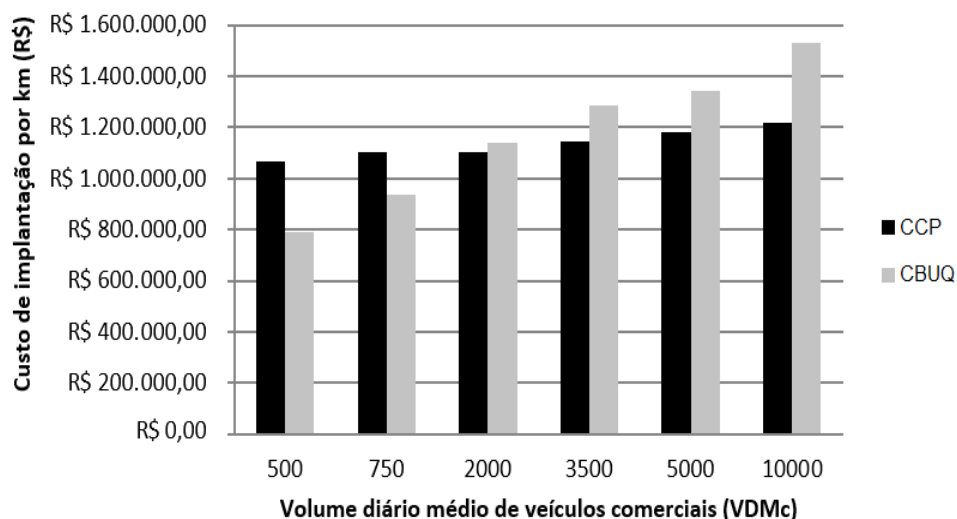
que o orçamento dele era de menor valor, algo em torno de R\$ 307 milhões (MELLO, 2021).

A deflagração da invasão russa à Ucrânia, em 2022, no entanto, impactou as duas tecnologias de pavimentação, uma vez que os preços de cimento, matéria prima dos pavimentos rígidos, aumentaram em consequência a elevação dos preços do petróleo, matéria prima do pavimento asfáltico, que encareceu o frete (ABCP, 2022).

### 2.10.6 Custos da construção

Em uma comparação proposta por Moschetti (2015), que utilizou-se de dados retirados do DER - SP (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo) para calcular-se o custo de implantação de uma pista simples com 7 m de largura, com espessuras de cobertura que variaram conforme o aumento da exigência da via, de 19 a 23 cm para CCP e de 12,5 a 24 cm para CBUQ, demonstrou-se que o pavimento rígido é mais viável inicialmente, em casos em que o número de veículos que trafegam na via seja elevado, conforme o Gráfico 1.

**Gráfico 1 - Custos de implantação da pavimentação por Km**

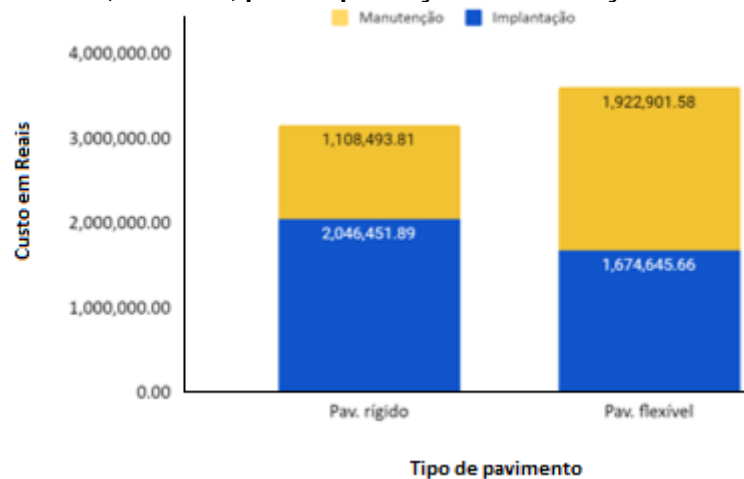


**Fonte: Adaptado de Mendonça Filho e Rocha (2018, p. 1).**

Um estudo realizado por Bonaldo (2020), no qual foram determinados os custos totais, através da tabela SINAPI de agosto de 2020 (sem desoneração), para construção de um pavimento asfáltico do tipo CBUQ, com 5 cm de espessura e sub-

base de BGS com 28 cm, e de um pavimento em concreto simples, com 21 cm de espessura e sub-base de 10 cm, feita em brita tratada com cimento, para um CBR de 12,72%, vida útil de 20 anos, e manutenções baseadas em critérios desenvolvidos pela AASHTO em 1993, pelo qual previu-se o recapeamento do asfalto no nono e no décimo quarto ano, e do pavimento rígido no décimo nono ano, concluiu que apesar do custo inicial superior, por demandar menos intervenções dispendiosas, o pavimento rígido foi a alternativa mais vantajosa economicamente para o caso em questão, conforme demonstra a Figura 77.

**Figura 77 - Custo total, em reais, para implantação e manutenção de 1 km de pavimento**



Fonte: Adaptado de Bonaldo (2020, p. 52).

Recentemente, a ABCP (2022) divulgou uma análise competitiva para pavimentação dos loteamentos São João e Jardim Planalto na cidade de Contenda (PR), baseada nos custos referenciais das composições SINAPI e SMOP (Prefeitura Municipal de Curitiba) de abril/2019. Foram considerados para fins de dimensionamento que o tráfego N tinha valor de  $1,0 * 10^6$ , o CBR de 8,3% e que a vida útil do pavimento fosse de 20 anos.

A ABCP (2022) complementa que nessa comparação a cobertura asfáltica possuía 5 cm de espessura sobre sub-base de BGS com 15 cm, enquanto o pavimento de concreto simples possuía espessura de 13 cm sobre sub-base cimentada com 15 cm. Além disso, foi previsto a execução de remendos e tapa-buraco em 2% da área pavimentada com betume, com manutenção rotineira e recapeamento no ano 10 deste, enquanto para o pavimento rígido foi considerado a demolição e reconstrução de 10 a 15% das placas de concreto. Conforme a Figura 78, chegou-se aos seguintes custos totais para pavimentação:

**Figura 78 – Custo total da pavimentação asfáltica e rígida por km**

	<b>ASFALTO</b>	<b>CONCRETO</b>	
IMPLANTAÇÃO	R\$ 1.793.480,61	R\$ 1.336.052,93	- 34,2%
MANUTENÇÃO	R\$ 998.290,18	R\$ 294.319,89	
<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$ 2.791.770,79</b>	<b>R\$ 1.630.372,82</b>	<b>- 71,2%</b>

Fonte: ABCP (2022, p. 15).

Os valores considerados na comparação referem-se apenas à pavimentação e, portanto, não incluem itens de drenagem, paisagismo, calçada e afins (ABCP, 2022).

### 2.10.7 Sustentabilidade

Para que um pavimento possa ser considerado sustentável é necessário que este atinja expectativas como obra de engenharia de maneira que preserve o ecossistema ao redor, por meio da utilização eficiente de recursos humanos e ambientais (DAM *et al.*, 2015).

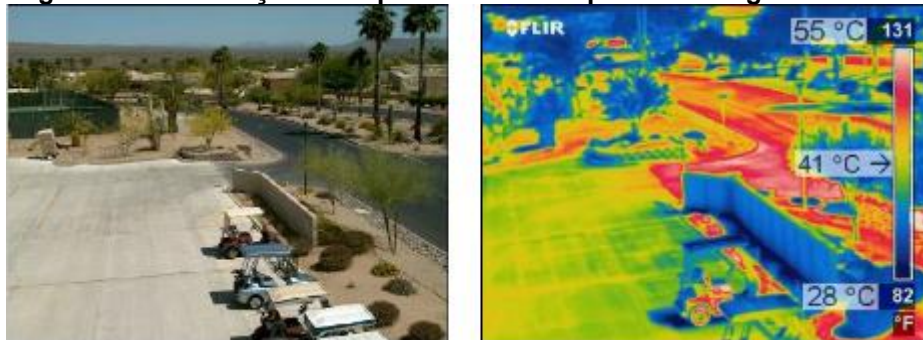
Segundo Stark (1986) a reflexividade do pavimento rígido permite redução de até 30% de energia na iluminação da via, se comparada com a necessária para gerar a mesma claridade em coberturas betuminosas (Figura 79). Além disso, o asfalto tem alta capacidade de absorver calor e isso contribui com o aumento de temperatura ambiente do que o pavimento de concreto (Figura 80) (AKPINAR *et al.*, 2018). A falta de refletividade do pavimento urbano pode auxiliar no desenvolvimento do fenômeno de ilhas de calor, principalmente nas grandes cidades (EPA, 2017).

**Figura 79 – Comparação da capacidade de reflexão da iluminação pública entre pavimento rígido e flexível (Rodovia Castello Branco em São Paulo)**



Fonte: ABCP (2005, *apud* ACPA, 2005, p. 1).

**Figura 80 – Diferença de temperatura entre o pavimento rígido e flexível**



Fonte: Rudnicki, Woloszka (2016, p. 7).

Ainda que o pavimento rígido leve pequena vantagem, vale salientar que devido às intempéries e ao acúmulo de sujeira, essa diferença de reflexividade tende a diminuir com o passar do tempo. Enquanto nos pavimentos rígidos o tráfego geralmente suja o rolamento e faz com que ele escureça com o tempo, nos pavimentos flexíveis a tendência é de haver clareamento conforme o aglutinante oxida e mais agregado é exposto devido ao desgaste promovido pela passagem de veículos. Ambos os métodos podem se aproveitar de aditivos ou tinturas específicas para clarear a superfície e assim diminuir a absorção de calor (EPA, 2017).

No que tange ao consumo de combustível pelos veículos trafegantes, um levantamento realizado por Vashisth e Kumar (2018), em que foram revisados 36 estudos, publicados entre 1978 e 2013, a respeito do impacto das características da superfície de rolamentos flexíveis ou rígidos, como textura e suavidade, concluiu que não há consenso científico na relação entre redução do consumo de combustível e a metodologia de pavimentação adotada.

O pavimento de concreto é 100% reciclável (ABCP, 2022). Para o pavimento em asfalto, um dos métodos mais tradicionais é a reciclagem *in situ*, que, de maneira geral, consiste em uma máquina especial que corta e tritura a camada asfáltica danificada, e em seguida, à mistura e homogeneiza para gerar, assim, uma nova massa asfáltica (DEMUELENAERE; SANTOS, 2018).

Sousa (2011) diz que o concreto reciclado é uma boa alternativa na construção da base de pavimentos, em substituição aos agregados convencionais. Uma alternativa sustentável utilizada na indústria civil para confecção de cimento é o coprocessamento, ou seja, a substituição de combustíveis convencionalmente usados em fornos de cimento, por resíduos indesejáveis como pneus, óleos usados, graxas, entre outros, sem prejudicar a qualidade final do produto (MOSCHETTI, 2015). A etapa de coprocessamento chega a consumir até seis vezes mais pneus inservíveis do que um asfalto. Além disso, a produção de concreto gasta de 3 a 4 vezes menos energia elétrica do que a de asfalto (ABCP, 2022).

Diferentemente do que ocorre nos pavimentos betuminosos, o fenômeno de lixiviação, que promove a ocorrência de águas percoladas com capacidade de contaminar o lençol freático ou de águas superficiais capazes de contaminar mananciais ou cursos d'água, não é observado em pavimentos de concreto (ABCP, 2022).

O pavimento de concreto permeável é uma boa alternativa, do ponto de vista ambiental, para as cidades, em que se predomina o tráfego de baixo volume, visto que possui capacidade de reduzir o escoamento das águas pluviais. Entre outros benefícios estão o auxílio na filtragem da água, a absorção de metais pesados e a redução da poluição (HENDERSON; NORTHMORE; RAHMAN; TIGHE, 2016).

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta como foi feita a pesquisa e o dimensionamento de um pavimento de concreto simples.

A coleta de dados para a pesquisa foi realizada de maneira bibliográfica (estudos) e documental (pesquisas estatísticas), de finalidade básica, em que se busca investigar e aprofundar o conhecimento em um assunto já existente, que são as características do pavimento rígido. O objetivo da pesquisa é do tipo descritivo, visto que procura conhecer a realidade do pavimento rígido, suas características e seus problemas, através de teorias propostas por estudiosos em teses, TCCs, artigos científicos, publicações em revistas científicas e livros, além de informações disponibilizadas por órgãos e associações relacionados ao tema em questão, para assim, comparar-se as informações e chegar-se em respostas confiáveis (GIL, 2008).

A análise das informações encontradas foi feita através de abordagem qualitativa, visto que não utiliza instrumentos estatístico em tal análise, apenas se baseia em conhecimentos teórico-empíricos a respeito do pavimento em questão (VIEIRA, 1996 *apud* ZANELLA, 2013).

O método para realização da pesquisa foi o indutivo, uma vez que se observou as características do pavimento rígido e sua baixa utilização no país, e buscou-se descobrir a razão para isso, e em seguida, por meio da comparação, pode-se entender as vantagens e desvantagens das tecnologias rígidas e flexíveis, e assim pode-se tirar conclusões a respeito (LAKATOS; MARCONI, 1991 *apud* ZANELLA, 2013).

O dimensionamento a seguir foi baseado no método mais consagrado e reproduzido atualmente, o da Portland Cement Association de 1984, publicada pela ABCP em 1996 e indicado nos manuais de pavimentação do DNIT (MEDINA, 1997).

#### 3.1 Exemplo de dimensionamento de um pavimento de concreto simples

Aqui, serão apresentados o passo a passo para chegar-se na espessura ideal de um pavimento de concreto simples, dimensionados pelo método PCA/84, que se baseia na determinação da resistência à fadiga e os danos causados pela erosão, de modo que estas duas variáveis alcançassem um valor máximo de 100%. Para tanto,

fez-se uso de ábacos e tabelas disponíveis nos anexos (A ao G), além da ferramenta Excel para elaboração das tabelas de autoria própria.

Primeiramente, adotou-se um volume de tráfego de projeto hipotético para uma vida útil de 20 anos. Por conta de o tráfego possuir alto volume de caminhões, empregou-se um fator de segurança, isto é, fator de majoração das cargas dos eixos de 1,2, denominado de carga de projeto por eixo (C3) (Quadro 6). É indispensável frisar que como este método não possui ábacos específicos para eixos tandem triplos, é preciso dividir as cargas de projeto por eixo (C3) deles por 3, para que assim passem a ser considerado como eixo simples. No exemplo em questão assumiu-se, respectivamente, cargas por eixo (C2) de 24, 26 e 28 toneladas, para as faixas de cargas por eixo (C1) menores ou iguais a 24, entre 24 e 26 e entre 26 e 28, conforme demonstra o Quadro 7.

**Quadro 6 - Fator de segurança para cargas (FSC)**

<b>Tipo de pavimento</b>	<b>FSC</b>
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: DNIT (2005, p. 95).**



**Quadro 7 - Tráfego de projeto para uma vida útil do pavimento igual a 20 anos.**

Faixa das cargas por eixo (t)	Carga por eixo (t)	Carga de projeto por eixo (t)	Número de repetições previstas (20 anos)
C1	C2	C3	C4
<b>Eixos simples</b>			
≤ 5	5	6	2072978
5 a 6	6	7,2	226657
6 a 7	7	8,4	278149
7 a 8	8	9,6	236356
8 a 9	9	10,8	232768
9 a 10	10	12	301951
10 a 11	11	13,2	250984
11 a 12	12	14,4	213339
12 a 13	13	15,6	177474
13 a 14	14	16,8	160911
<b>Eixos tandem duplos</b>			
≤ 13	13	15,6	181272
13 a 14	14	16,8	10956
14 a 15	15	18	15936
15 a 16	16	19,2	153210
16 a 17	17	20,4	17928
17 a 18	18	21,6	29880
18 a 19	19	22,8	22908
19 a 20	20	24	18924
<b>Eixos tandem triplos</b>			
≤ 24	8	9,6	29880
24 a 26	8,67	10,404	17928
26 a 28	9,33	11,196	13944

Fonte: Autoria própria (2022).

O CBR adotado para o subleito, isto é, a resistência à penetração necessária para penetrar a brita padronizada, foi de 5% (quanto maior seu valor, maior será a resistência do solo). Adotou-se sub-base de concreto compactado à rolo, com 10 cm de espessura. Através da correlação destes dados foi possível determinar o coeficiente de recalque no topo da sub-base, conforme o Quadro 8.

**Quadro 8 - Aumento de K devido à presença de sub-base de concreto rolado**

Valor de suporte do subleito		Coefficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a (cm)
CBR (%)	K (MPa/m)	10
5	34	111

Fonte: Adaptado de Andrade (2005, p. 4).

Tem-se então um  $K_{\text{subleito}} = 34 \text{ MPa/m}$  e  $K_{\text{sub-base}} = 111 \text{ MPa/m}$ . Percebe-se que a presença da sub-base em concreto rolado amplia o valor de K, isto significa que a fundação foi reforçada.

A resistência característica do concreto à tração na flexão ( $F_{\text{ctk}}$ ) adotada foi de 4,5 MPa. Foi considerado que o acostamento da via também receberá pavimentação de concreto, além disso, será empregado barras de aço sob as juntas transversais, com finalidade de solidarizar as cargas verticais entre a placas contiguas.

### 3.1.1 Fator de fadiga

Para a primeira tentativa foi adotado um revestimento com 20 cm de espessura. Como o valor de  $K_{\text{sub-base}} = 111 \text{ MPa/m}$  encontrado não possui representação nas tabelas destinadas à obtenção do fator de fadiga, foi necessário a realização de interpolação linear entres os valores mais próximos, isto é, as colunas  $K = 80 \text{ MPa/m}$  e  $K = 140 \text{ MPa/m}$ , conforme mostrado nos Quadros 9 e 10 a seguir:

**Quadro 9 - Tensão equivalente - Com acostamento de concreto (Eixo simples / Eixo tandem duplo)**

ESPESSURA DA PLACA (cm)	K DO SISTEMA SUBLEITO - SUB-BASE (MPa/m)	
	80	140
20	1,30/1,10	1,19/1,00

Fonte: Autoria própria (2022).

**Quadro 10 – Tensão equivalente para eixos tandem triplos (Sem acostamento de concreto / Com acostamento de concreto)**

ESPESSURA DA PLACA (cm)	K DO SISTEMA SUBLEITO - SUB-BASE (MPa/m)	
	80	140
20	0,99/0,87	0,89/0,82

Fonte: Autoria própria (2022).

Encontrou-se assim a tensão equivalente de 1,24 MPa para os eixos simples, 1,05 MPa para os eixos tandem duplos e 0,94 MPa para os eixos tandem triplos. Para determinar o fator de fadiga basta dividir tais valores de tensão pela resistência do concreto na tração a flexão, que para o exemplo em questão é de 4,5 MPa. Assim, chegou-se aos valores de fator de fadiga de 0,276 para eixos simples, 0,233 para eixos tandem duplos e 0,209 para eixos tandem triplos.

### 3.1.2 Fator de erosão

Foi necessária a realização de interpolação linear entre os valores de  $K = 80$  MPa/m e  $K = 140$  MPa/m, para assim, obter-se o fator de erosão de 2,33 para os eixos simples, 2,35 para eixos tandem duplos e 2,38 para eixos tandem triplos. Encontrados através de consulta dos Quadros 11 e 12 a seguir:

**Quadro 11 - Fatores de erosão - Juntas transversais com barras de transferência e com acostamento de concreto (Eixo simples / Eixo tandem duplo)**

ESPESSURA DA PLACA (cm)	K DO SISTEMA SUBLEITO - SUB-BASE (MPa/m)	
	80	140
20	2,35/2,40	2,31/2,31

Fonte: Autoria própria (2022).

**Quadro 12 - Fatores de erosão para eixos tandem triplos - Juntas transversais com barras de transferência (Sem acostamento de concreto / Com acostamento de concreto)**

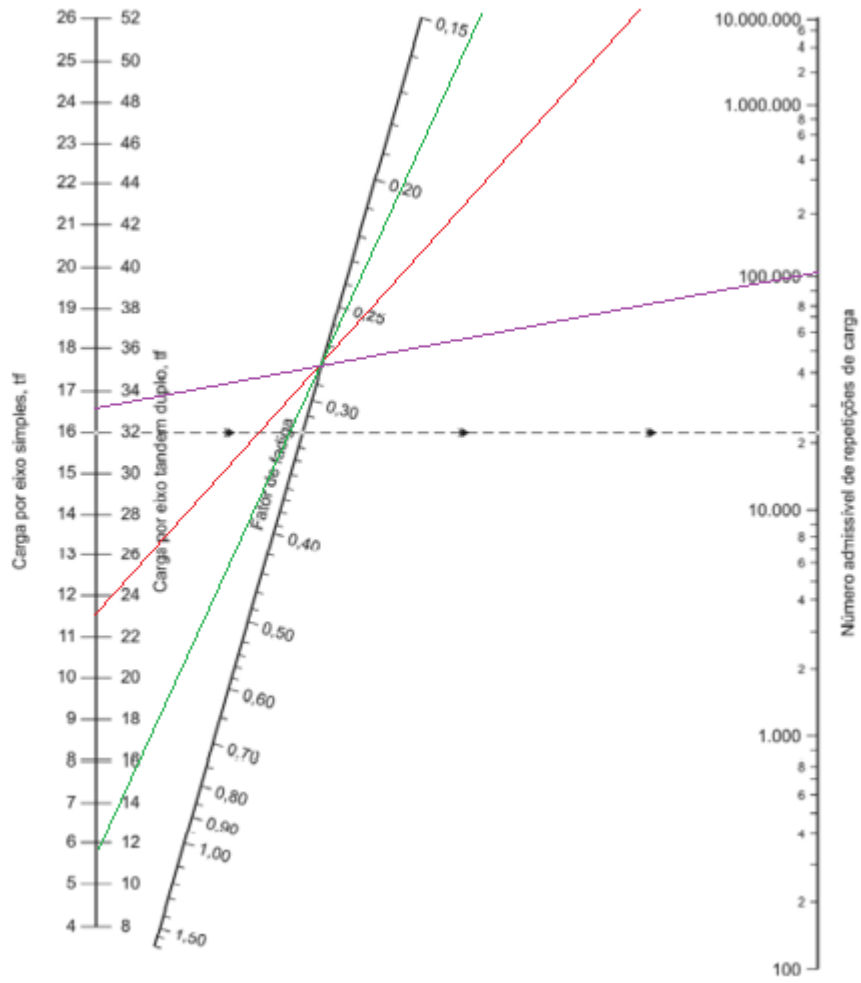
ESPESSURA DA PLACA (cm)	K DO SISTEMA SUBLEITO - SUB-BASE (MPa/m)	
	80	140
20	2,99/2,44	2,91/2,32

Fonte: Autoria própria (2022).

Uma vez determinado os coeficientes, frente às solicitações presentes na projeção de tráfego acumulado (C3), são realizadas análises de fadiga e erosão através dos ábacos propostos pelo método, em que os valores à esquerda da primeira coluna representam os valores de C3, dos eixos simples e eixos tandem triplos, e à direita os dos eixos tandem duplos. A linha central representa os fatores de fadiga ou erosão e a coluna à direita da os valores de repetições admissíveis.

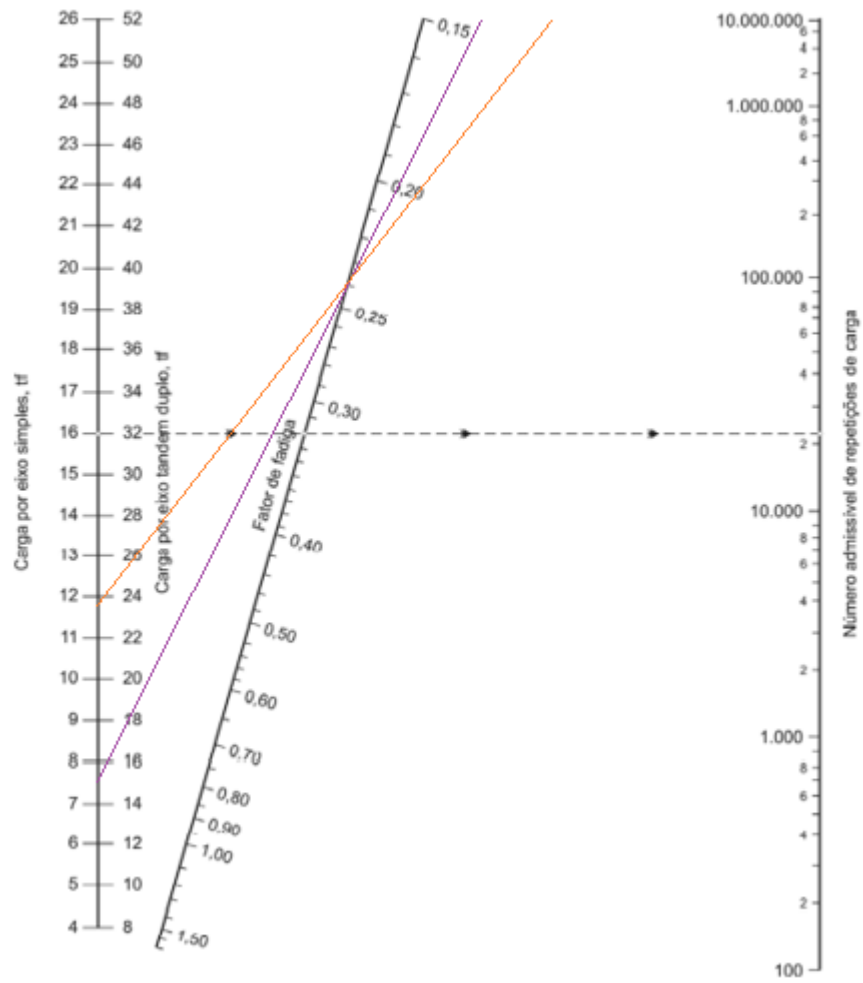
Iniciou-se pela análise de fadiga (Figuras 81, 82 e 83), em que se obteve o número de repetições admissíveis para cada carga correspondente, conforme mostrado nas figuras seguintes:

Figura 81 - Ábaco de fadiga para eixos simples



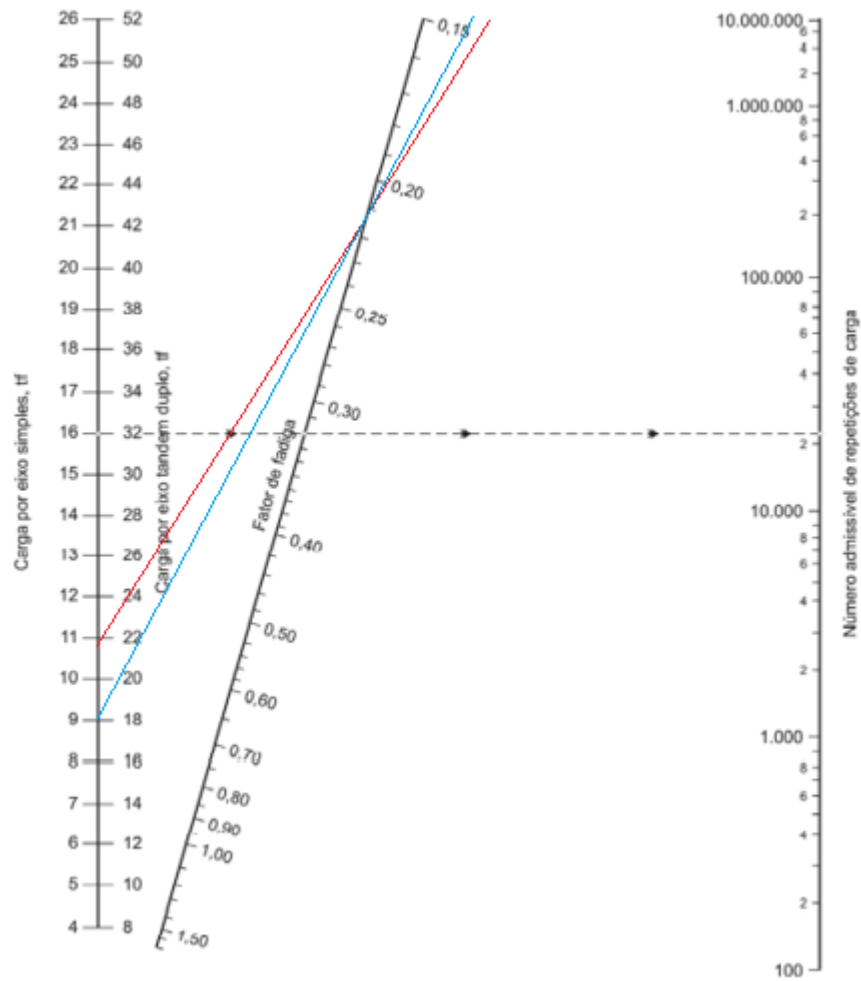
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 82 - Ábaco de fadiga para eixos tandem duplos



Fonte: Autoria própria (2022).

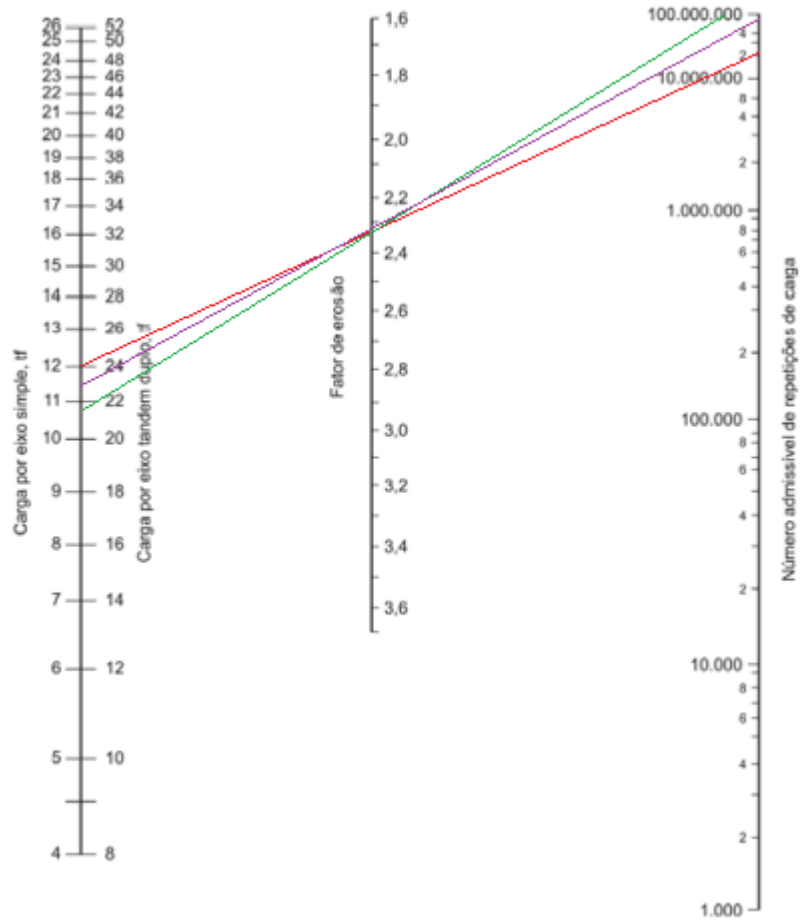
**Figura 83 - Ábaco de fadiga para eixos tandem triplos**



Fonte: Autoria própria (2022).

Não se viu necessidade de traçarem-se linhas para todas as cargas de projeto por eixos, uma vez constatada a tendência de nenhum limite para as repetições por eixos. O mesmo foi feito para a análise dos valores de erosão, conforme demonstra as figuras 84, 85 e 86 a seguir:

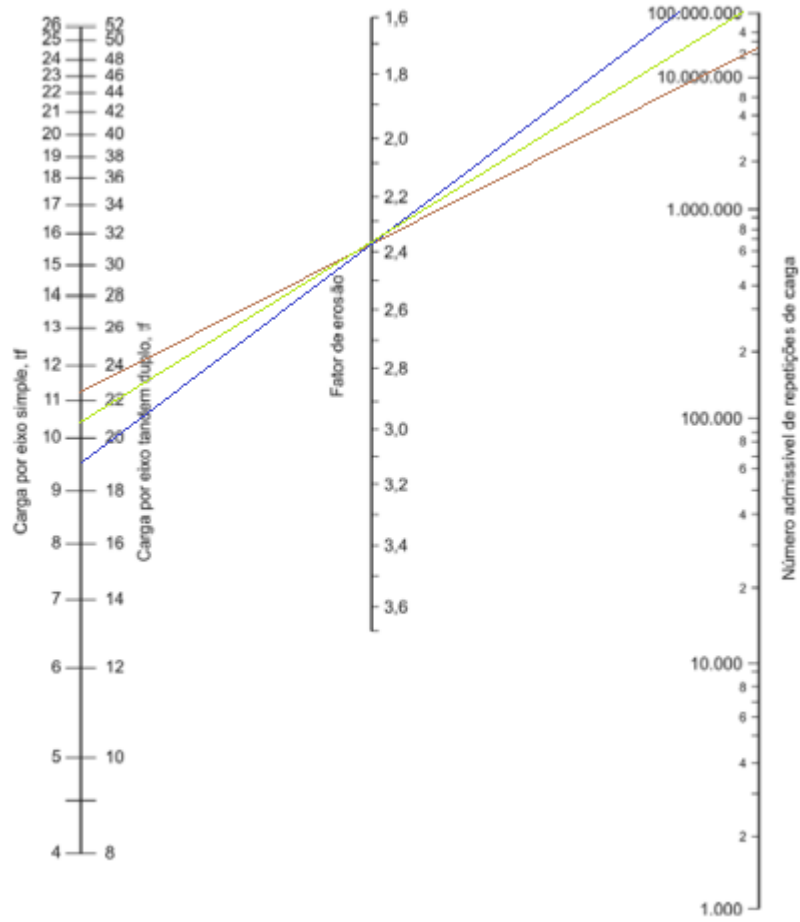
Figura 84 - Ábaco de erosão para eixos simples



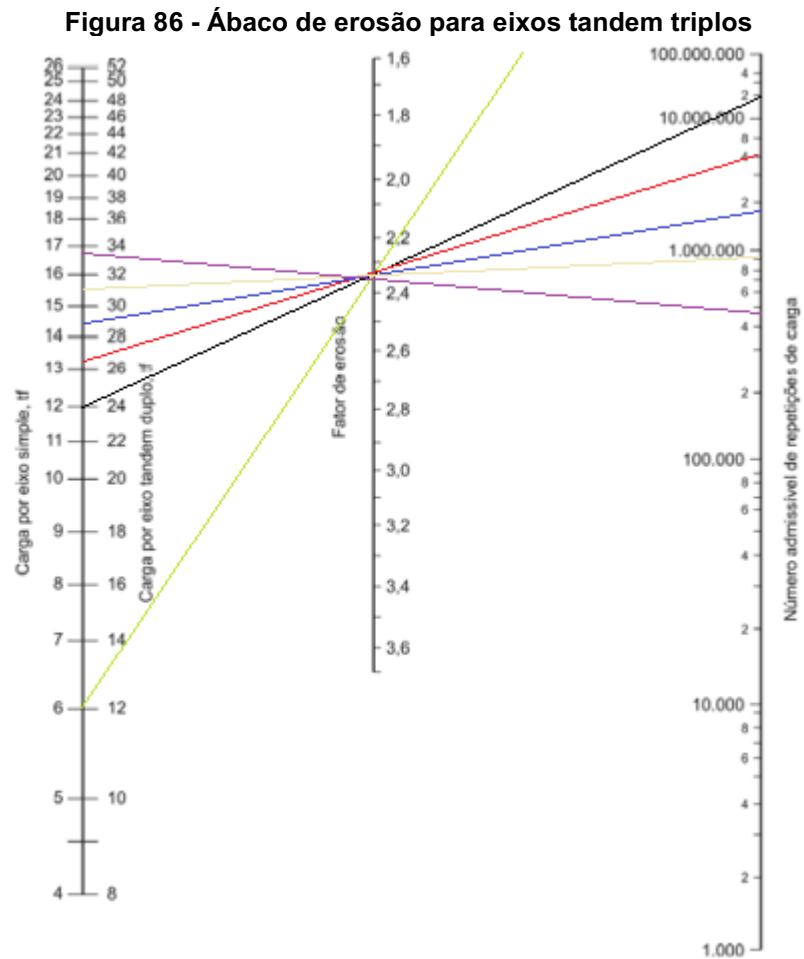
Fonte: Autoria própria (2022).



Figura 85 - Ábaco de erosão para eixos tandem duplos



Fonte: Autoria própria (2022).



Fonte: Autoria própria (2022).

Finalmente, com os valores de repetições admissíveis, tanto para o fator de fadiga quanto para o de erosão, obtidas através dos ábacos, foi possível realizar a análise dos resultados, com o auxílio da ferramenta Excel.

## 4 RESULTADOS E DISCUSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os resultados do dimensionamento do pavimento de concreto simples, obtido através dos procedimentos metodológicos, demonstrados no capítulo anterior, que possibilitaram o preenchimento do Quadro 13 de projeto do pavimento rígido que se segue:

**Quadro 13 – Projeto da espessura do pavimento rígido pelo método da PCA/84**

Faixa das cargas por eixo (t)	Carga por eixo (t)	Carga de projeto por eixo (t)	Número de repetições previstas (20 anos)	Análise da fadiga		Análise da erosão		
				Número de repetições admissíveis	Consumo de fadiga	Número de repetições admissíveis	Consumo por erosão (%)	
C1	C2	C3 = C2*FSC	C4	C5	C6 = C4/C5	C7	C8 = C4/C7	
<b>Eixos simples</b>								
≤ 5	5	6	2072978	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
5 a 6	6	7,2	226657	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
6 a 7	7	8,4	278149	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
7 a 8	8	9,6	236356	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
8 a 9	9	10,8	232768	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
9 a 10	10	12	301951	Ilimitado	-	20000000	0,01509755	
10 a 11	11	13,2	250984	Ilimitado	-	4000000	0,062746	
11 a 12	12	14,4	213339	Ilimitado	-	1700000	0,125493529	
12 a 13	13	15,6	177474	290000	0,61197931	900000	0,197193333	
13 a 14	14	16,8	160911	110000	1,462827273	470000	0,34236383	
<b>Eixos tandem duplos</b>								
≤ 13	13	15,6	181272	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
13 a 14	14	16,8	10956	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
14 a 15	15	18	15936	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
15 a 16	16	19,2	153210	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
16 a 17	17	20,4	17928	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
17 a 18	18	21,6	29880	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
18 a 19	19	22,8	22908	Ilimitado	-	75000000	0,00030544	
19 a 20	20	24	18924	Ilimitado	-	20000000	0,0009462	
<b>Eixos tandem triplos</b>								
≤ 24	8	9,6	29880	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
24 a 26	8,67	10,404	17928	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
26 a 28	9,33	11,196	13944	Ilimitado	-	28000000	0,000498	
					Total (%)	2,07	Total (%)	0,74

Fonte: Autoria própria (2022).

Assim, foi possível calcular os consumos por fadiga, através da razão entre o número de repetições previstas durante vida útil de 20 anos (C4) e o número de repetições admissíveis, desde que esse não seja ilimitado, pois para estes o consumo é inexistente, e erosão, através da razão entre os valores de C4 e C7, para cada faixa de cargas por eixo, que após somados resultaram em valores totais para fadiga e erosão de, respetivamente, 2,07 e 0,74%.

A resistência à fadiga por flexão do pavimento foi pouco consumida, assim como os danos por erosão devido às repetições de carga que foram pequenos. Diante disso, o recomendado seria diminuir a espessura adotada para a placa de concreto e refazer o processo, até que se obtenham porcentagens próximas a 100% para o valor total de consumo por fadiga ou por danos por erosão.

Para atingir o limite próximo ao ideal, mantido todas as características anteriormente definidas, seria necessário que todas as faixas de cargas por eixo (C1), desde que não tivessem repetições admissíveis ilimitadas, tivessem suas repetições previstas para o período multiplicadas em cerca de 48 vezes, como demonstra o quadro 14 a seguir:

Quadro 14 – Limite de tráfego para a espessura do pavimento de concreto simples

Faixa das cargas por eixo (t)	Carga por eixo (t)	Carga de projeto por eixo (t)	Número de repetições previstas (20 anos)	Análise da fadiga		Análise da erosão		
				Número de repetições admissíveis	Consumo de fadiga	Número de repetições admissíveis	Consumo por erosão (%)	
C1	C2	C3 = C2*FSC	C4	C5	C6 = C4/C5	C7	C8 = C4/C7	
<b>Eixos simples</b>								
≤ 5	5	6	2072978	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
5 a 6	6	7,2	226657	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
6 a 7	7	8,4	278149	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
7 a 8	8	9,6	236356	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
8 a 9	9	10,8	232768	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
9 a 10	10	12	14493648	Ilimitado	-	20000000	0,7246824	
10 a 11	11	13,2	12047232	Ilimitado	-	4000000	3,011808	
11 a 12	12	14,4	10240272	Ilimitado	-	1700000	6,023689412	
12 a 13	13	15,6	8518752	290000	29,3750069	900000	9,46528	
13 a 14	14	16,8	7723728	110000	70,21570909	470000	16,43346383	
<b>Eixos tandem duplos</b>								
≤ 13	13	15,6	181272	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
13 a 14	14	16,8	10956	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
14 a 15	15	18	15936	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
15 a 16	16	19,2	153210	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
16 a 17	17	20,4	17928	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
17 a 18	18	21,6	29880	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
18 a 19	19	22,8	1099584	Ilimitado	-	75000000	0,01466112	
19 a 20	20	24	908352	Ilimitado	-	20000000	0,0454176	
<b>Eixos tandem triplos</b>								
≤ 24	8	9,6	29880	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
24 a 26	8,67	10,404	17928	Ilimitado	-	Ilimitado	-	
26 a 28	9,33	11,196	669312	Ilimitado	-	28000000	0,023904	
					Total (%)	99,59	Total (%)	35,74

Fonte: Autoria própria (2022).

Neste caso o consumo de fadiga estaria próximo ao limite de 100 %. Nunca este valor deve ser excedido pois poderia gerar defeitos, como fissuras de canto e longitudinais das placas de concreto, causados pela fadiga devido a tráfego intenso. Já para os danos por erosão, pode-se citar a quebra da placa e o escalonamento de juntas entre elas, que são causados pela expulsão de material da sub-base por bombeamento devido ao efeito do tráfego (DNIT, 2005).

## 5 CONCLUSÃO

Na infraestrutura de transportes, o modal viário é o mais relevante para o desenvolvimento de uma nação, uma vez que faz a interligação entre os outros meios de transportes e seus destinos finais, que, em alguns casos, localizam-se em áreas remotas, longe dos grandes centros urbanos.

No Brasil, em que a maior parte das mercadorias e passageiros são transportados por meios rodoviários, o condicionamento dessas vias tem grande impacto nos custos dos produtos e serviços, pois afeta diretamente o tempo e o custo do frete e os gastos com manutenção de veículos. Portanto, é fundamental a otimização dos investimentos realizados em sua infraestrutura, dentre as quais a pavimentação tem maior importância.

Os investimentos nesse setor são insuficientes e grande parte dos recursos públicos destinados a ele estão comprometidos com gastos em manutenção dos pavimentos existentes. Portanto, buscar-se por alternativas que demandam menos intervenções e que sejam mais duráveis pode ser interessante, uma vez que possibilitaria que estes recursos fossem realocados para a expansão da malha rodoviária que, atualmente, é pouco pavimentada, sem deixar de lado o conforto e a segurança gerados por um pavimento em bom estado de conservação.

Foi dimensionado, através do método PCA/84, um pavimento de concreto simples que atenderia perfeitamente esses quesitos citados no parágrafo anterior. Se comparação ao método de pavimentação mais difundido no Brasil, o de revestimento asfáltico, o pavimento dimensionado tem menor necessidade de realização de manutenções dispendiosas, além de ter uma vida útil duas vezes maior, já que é projetado para durar ao menos 20 anos.

Percebe-se que o pavimento asfáltico tem menor custo de construção em situações de menor tráfego de veículos comerciais, porém, à medida que esse volume aumenta a situação se inverte e o pavimento rígido se torna mais vantajoso economicamente. Isso acontece porque sua estrutura necessita de menos camadas e menor espessura para suportar as solicitações provenientes do tráfego. Ademais, com a elevação dos preços do petróleo e, conseqüentemente, de seus derivados, como os ligantes asfálticos, esse “ponto de virada” passou a depender de menos volume de tráfego de veículos comerciais.

Contudo, ao comparar-se as soluções para pavimentação rodoviária, é fundamental levar-se em consideração, não somente os custos de implantação do pavimento, mas, também, os referentes às manutenções deste. Em diversos casos em que o valor inicial do pavimento de concreto é mais elevado, ao somar-se a este o valor gasto com a conservação e restauração da pista para um período de 20 anos, observa-se que o valor total gasto no empreendimento é maior caso se opte pelo uso da alternativa flexível.

Além disso, para o caso brasileiro, no qual a maior parte das vias são pavimentadas com asfalto, pode-se recorrer ao método de reabilitação destes, denominado de *whitetopping*. Ele, por utilizar-se de concreto, permite que o pavimento flexível deteriorado tenha uma sobrevida na qual todas as características presentes nos pavimentos rígidos são a ele incorporadas. Dentre tais características pode-se citar o fato do pavimento de concreto não se deteriorar por conta do derramamento de óleos e combustíveis, ou pela ação da chuva, além de não formar trilhas de rodas, nem permitir a criação de laminais d'água em sua superfície, que podem provocar aquaplanagem. Além disso, essa tecnologia possibilita uma vida útil de mais 20 anos sem sofrer reparos e manutenções, desde que seu dimensionamento e execução tenham sido feitos de maneira adequada.

## REFERÊNCIAS

- ABCP. Construção de via de concreto deve aquecer indústria de cimento no CE. **Reportagem**. 07 nov. 2019. Disponível em: <https://abcp.org.br/construcao-de-via-de-concreto-deve-aquecer-industria-de-cimento-no-ce/>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- ABCP. Custos com insumos das cimenteiras disparam. **Pesquisa**. 11 mar. 2022. Disponível em: <https://abcp.org.br/custos-com-insumos-das-cimenteiras-disparam/>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- ABCP. **Estradas de concreto**: este é o caminho do futuro. São Paulo: ABCP, 2013.
- ABCP. **Estudo Técnico**: Construção de pavimentos de concreto simples. São Paulo: ABCP, 1998.
- ABCP. **Execução de pavimentos de concreto para Rodovias** - apresentação. São Paulo: ABCP, 2021.
- ABCP. **Governar é abrir estradas**: o concreto pavimentando os caminhos na formação de um novo país. São Paulo: ABCP, 2009.
- ABCP. Pavimentação de concreto avança no sul do Brasil. **Entrevista**. 21 nov. 2020. Disponível em: <https://abcp.org.br/pavimentacao-de-concreto-avanca-no-sul-do-brasil/>. Acesso em: 12 mai. 2022.
- ABCP. **Pavimento de concreto**: execução passo a passo - apresentação. São Paulo: ABCP, 2011.
- ABCP. **Tecnologia do pavimento de concreto** - apresentação. São Paulo: ABCP, 2019.
- ABCP. **Vantagens do pavimento de concreto**: Infraestrutura, mobilidade e transporte. Curitiba: ABCP, 2021.
- ACPA. **SR 385 Green Roadways**: Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavement. Chicago: ACPA'S, 2015.
- AKPINAR, M. V. et al. **The role of exergy in energy and the environment**. Springer, Estados Unidos, 2018.
- ANDRADE, M. H. F. **Tabelas método PCA/84**. Notas de aula – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.geocities.ws/pavimentacao2005/Tabelas.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2021.
- BALBO, J. T. **Pavimentação alfástica**: materiais, projeto e restauração. 1 ed. São Paulo: Oficina de texto, 2007.



BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto Permeáveis: Uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente.** São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação alfástica: formação básica para engenheiros.** 3 ed. Rio de Janeiro, 2008.

BIANCHI, F. R.; BRITO, I. R. T.; CASTRO, V. A. B. Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível. **Notas de aula.** 8 set. 2008. Disponível em: [https://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav\\_apresentacoes/isis\\_raquel.pdf](https://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav_apresentacoes/isis_raquel.pdf). Acesso em: 10 abr. 2022.

BRANCO, F.; PEREIRA, P.; SANTOS, L. P. **Pavimentos Rodoviários.** São Paulo: Almedina, 2006.

BRASIL, GOVERNO DO. Governo Federal entrega duplicação de 40 KM da BR-101 em Sergipe. **Reportagem.** 21 dez. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2022/05/governo-federal-entrega-duplicacao-de-40-km-da-br-101-em-sergipe>. Acesso em: 25 abr. 2022.

BRASILEIRO, EXÉRCITO. 12º Batalhão de engenharia de combate blindado - manutenção. **Reportagem.** 2022. Disponível em: [http://www.eb.mil.br/o-exercito?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_assetEntryId=3730589&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=11425&\\_101\\_urlTitle=12-batalhao-de-engenharia-de-combate-blindado-manutencao&inheritRedirect=true#.YpaMzqjMLDc](http://www.eb.mil.br/o-exercito?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=3730589&_101_type=content&_101_groupId=11425&_101_urlTitle=12-batalhao-de-engenharia-de-combate-blindado-manutencao&inheritRedirect=true#.YpaMzqjMLDc). Acesso em: 11 mar. 2016.

CARNEIRO, L. A. V.; SILVA, J. E. M. **Pavimentos de concreto: histórico, tipos e modelos de fadiga.** 2014. Artigo acadêmico (Graduação Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, M. D. Técnicas de restauração de pavimentos de concreto. **Notas de aula.** 2016. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/GabriellaRibeiro7/tcnicas-de-restaurao-de-pavimentos-rgidos>. Acesso em: 3 nov. 2021.

CARVALHO, M. D. **Vantagens e benefícios do whitetopping e do inlay na reabilitação de pavimentos.** São Paulo: ABCP, 2012.

CAVA, F. Da rocha ao asfalto: a história da pavimentação. **Além da Inercia,** São Paulo, 2019. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2019/03/13/da-rocha-ao-asfalto-a-historia-da-pavimentacao/>. Acesso em: 1 dez. 2021.

CINZENTA, MASSA. 9 razões que fazem o pavimento de concreto ser competitivo. **Reportagem.** 4 set. 2019. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/entenda-a-importancia-da-normalizacao-para-o-seu-negocio>. Acesso em: 25 nov. 2021

CNT. **Brasil tem método antigo para dimensionar o pavimento.** [Brasília]: [CNT], 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/brasil-tem-metodo-antigo-para-dimensionar-o-pavimento>. Acesso em: 21 jun. 2022.

CNT. **Falta investir mais em rodovias e melhorar sistemas de gestão.** [Brasília]: [CNT], 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/falta-investir-mais-rodovias-melhorar-sistema-gestao>. Acesso em: 30 out. 2021.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias.** [Brasília]: [CNT], 2021. Disponível em: [https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa\\_CNT\\_Rodovias\\_2021\\_Web.pdf](https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf). Acesso em: 18 abr. 2022.

CNT. **Piora a qualidade das rodovias brasileiras.** [Brasília]: [CNT], 2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/piora-a-qualidade-das-rodovias-brasileiras>. Acesso em: 29 out. 2021.

CNT. **Somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada.** [Brasília]: [CNT], 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/somente-12-da-malha-rodoviaria-brasileira-pavimentada>. Acesso em: 29 out. 2021.

CNT. **Transporte saiu da recessão, mas recuperação ainda é lenta.** [Brasília]: [CNT], 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/transporte-saiu-recessao-recuperacao-ainda-lenta>. Acesso em: 29 out. 2021.

CONCREPAV. Concreto para pavimento rígido. **Normas técnicas.** 2008. Disponível em: <https://www.concrepav.com.br/empresa>. Acesso em: 15 mai. 2022.

CONCRETAS, VIAS. **Tecnologia/Overlay.** 2021. Disponível em: <https://viasconcretas.com.br/tecnologia/overlay/>. Acesso em: 1 nov. 2021.

CUNHA, P. F. **Dimensionamento e análise numérica de pisos industriais de concreto.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

DAM, T. J. V. *et al.* **Towards Sustainable Pavement Systems: A Reference Document.** Washington: Department of Transportation, 2015.

DEMUELENAERE, R. G. A.; SANTOS, M. R. **Reciclagem de Pavimento Asfáltico a Quente *In Situ*.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 01, pp. 5-16, mar. 2018.

DER. **Memória do Transporte.** Disponível em <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Institucional/Institucional.aspx>. Acesso em: 25 abri. 2022.

DERSA. **Primeiro Seminário Dersa: rodovia dos Imigrantes.** São Paulo: Dersa, 1976.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. [Rio de Janeiro]: [DNIT], 2006. Disponível em: <https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-Pavimentacao-719-DNIT-2006.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2022.

DNIT. **Manual de Pavimentos Rígidos**. [Rio de Janeiro]: [DNIT], 2005. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/714\\_manual\\_de\\_pavimentos\\_rigidos.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf). Acesso em: 12 mai. 2022.

DNIT. **Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos** [Rio de Janeiro]: [DNIT], 2010. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/737\\_manual\\_recuperacao\\_pavimentos\\_rigidos.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/737_manual_recuperacao_pavimentos_rigidos.pdf). Acesso em: 4 mai. 2022.

DNIT. **NORMA DNIT 031/2006 - ES**. Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço, 2006. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit031\\_2006\\_es.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit031_2006_es.pdf). Acesso em: 2 mai. 2022.

DNIT. **NORMA DNIT 047/2004 – ES**. Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - Especificação de serviço, 2004. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit\\_047\\_2004\\_es.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_047_2004_es.pdf). Acesso em: 3 mai. 2022.

DNIT. **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, 2004. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit\\_055\\_2004\\_me.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit_055_2004_me.pdf). Acesso em: 3 mai. 2022.

DNIT. **NORMA DNIT 061/2004 – TER**. Pavimento rígido – Defeitos – Terminologia, 2004. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit\\_061\\_2004\\_ter-1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit_061_2004_ter-1.pdf). Acesso em: 6 mai. 2022.

DNIT. **NORMA DNIT 137/2010- ES**. Pavimentação – Regularização do subleito - Especificação de serviço, 2010. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit\\_137\\_2010\\_es-1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_137_2010_es-1.pdf). Acesso em: 6 mai. 2022.

DOC. **Lançamento de concreto compactado a rodo (CCR)**. 14 ago. 2012.

Disponível em:

[http://www.doc.eb.mil.br/downloads/gte/1gptE/Capitulo11\\_Concreto\\_Compactado\\_com\\_Rolo\\_CCR\\_Versao2.pdf](http://www.doc.eb.mil.br/downloads/gte/1gptE/Capitulo11_Concreto_Compactado_com_Rolo_CCR_Versao2.pdf). Acesso em: 11 mar. 2016.

EPA. **Reducing urban heat islands: Compendium of strategies**. 2008. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing\\_urban\\_heat\\_islands\\_ch\\_5.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_5.pdf). Acesso em: 20 abr. 2022.

ESTRADAS. BR-163 recebe pavimentação de concreto na pista principal, em Santa Catarina. **Reportagem**. 13 mai. 2022. Disponível em: <https://estradas.com.br/br-163-recebe-pavimentacao-de-concreto-na-pista-principal-em-santa-catarina/>. Acesso em: 11 mar. 2016.

ESTRADAS. Rodovia dos Minérios, no PR, terá bloqueio em acesso durante obra de duplicação. **Reportagem**. 19 mai. 2022. Disponível em: <https://estradas.com.br/rodovia-dos-minerios-no-pr-tera-bloqueio-em-acesso-durante-obra-de-duplicacao/>. Acesso em: 20 mai. 2022.

CANABARRO, F.; TORRES, R. R. *et al.* Transporte e turismo: Rota romântica. **Revista Estradas**. Porto Alegre, v. 5, n. 9, p. 4-72, nov. 2005.

FERREIRA, L. A. **Estudo sobre a durabilidade, sustentabilidade e competitividade dos pavimentos de concreto utilizados nas estradas de rodagem brasileiras**. 2015. Dissertação (Bacharel em Engenharia Civil) – Curso Superior de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço. Boletim Técnico (BT/PCC/260)**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000.

FIGUEREDO, A.D. **Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário**. São Paulo: ABTC, 2008.

G1. SC tem pior trecho de rodovia do Brasil, aponta estudo da CNT. **Entrevista**. 23 abr. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2022/04/23/sc-tem-pior-trecho-de-rodovia-do-brasil-aponta-estudo-da-cnt.ghtml>. Acesso em: 22 mai. 2022.

GARBIN, P. T. **Quantificação das solicitações dinâmicas de veículos rodoviários de carga sobre os pavimentos através do programa trucksim**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

HALLACK, A. Pavimentos de concreto. **Material Acadêmico**. 2005. Disponível em: <https://docplayer.com.br/1654449-De-concreto-pavimento-introducao-aos-pavimentos-de-concreto-projeto-e-dimensionamento-dos-pavimentos-construcao-de-pavimentos.html>. Acesso em: 3 nov. 2021.

HENDERSON, V; NORTHMORE, A. B.; RAHMAN, S; TIGHE, S. L. Developing A Framework for Low-Volume Road Implementation of Pervious Concrete Pavements. **ScienceDirect**, Radarweg, v. 4, n. 1, p. 77-91, mar. 2015.

IBRACON. Pavimento de concreto: uma escolha inteligente e sustentável – análise técnica e econômica. **Revista Concreto e Construções**, v. 110, n. 67 p. 33-37, jul-set. 2012.

IBRACON. Recomendações de projeto e execução, novas alternativas e perspectivas de aplicação. **Revista Concreto e Construções**. São Paulo, v. 86, n. 9, p. 8-116, mar. 2016.

KUMAR, R.; VASHISTH, A. Review on Effect of Pavement Characteristics on Fuel Consumption. **International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)**. V. 7. Índia, 2018.

MAIA, I. M. C. **Caraterização de patologias em pavimentos rodoviários**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, Porto, 2012.

MACIEL, P. S. **Análise da infraestrutura de pavimento rígido com reforço diferenciado de fibras de aço**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

MASCHIO, A. Pavimentação de concreto avança no sul do Brasil. **Entrevista**. 21 nov. 2020. Disponível em: <https://abcp.org.br/pavimentacao-de-concreto-avanca-no-sul-do-brasil/>. Acesso em: 12 mai. 2022.

MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**. 3 ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2015.

MENDONÇA FILHO, J. M.; ROCHA, E. G. A. Estudo comparativo entre pavimentos flexível e rígido na pavimentação rodoviária. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 02, n. 06, p. 146-163, jun. 2018.

MESQUITA, J. C. L. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviário**: estudo de caso – rodovia BR-262, Miranda – Morro do Azeite - MS. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MOSCHETTI, R. Seminário pavimento de concreto: estradas de concreto, uma escolha inteligente e sustentável. **Seminário**. 2015. Disponível em: [https://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Pav\\_concreto\\_Ricardo\\_Moschetti.pdf](https://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Pav_concreto_Ricardo_Moschetti.pdf). Acesso em: 25 nov. 2021.

OLIVEIRA, E. M. **Transferência dos esforços cisalhantes em juntas de pavimentos rígidos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

OLIVEIRA, P. L. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO. PRC-280 ganha 1° quilômetro de concreto; obras avançam em ritmo rápido no Sudoeste. **Reportagem**. 21 dez. 2021. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/PRC-280-ganha-1deg-quilometro-de-concreto-obras-avancam-em-ritmo-rapido-no-Sudoeste/>. Acesso em: 11 mai. 2022.

PITTA, M. R. Pavimento de concreto: um moderno ovo de colombo? **Revista Ibracon**, São Paulo, 1996.

PREGO, A. S. S. **A memória da pavimentação no Brasil**. São Paulo: Abr, 2001.

RODRIGUES, J. L. A. **Conceção de pavimentos rígidos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, Porto, 2011.

RODRIGUES FILHO, H. Concreto consolida-se como pavimento urbano no Brasil. **Entrevista**. 4 set. 2014. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/concreto-pavimento-urbano/>. Acesso em: 18 mai. 2022.

ROWLING, J. K. **Harry Potter e a Câmara Secreta**. Rio de Janeiro: Rocco, 2007.

RUDNICKI, T.; WOLOSKA, P. **Zastosowanie technologii whitetopping w aspekcie realizacji remontów nawierzchni podatnych**, 2016 (Bacharel em engenharia civil e geodésia), Departamento de engenharia e comunicações, Universidade militar de tecnologia, Varsóvia, 2016.

SALLES, L. S. **Análise do comportamento de pavimento experimental de concreto continuamente armado de curta extensão**. 2013. Dissertação (Mestre Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 2007.

SHOW, CONCRETE. Uso de pavimento de concreto é ampliado em rodovias do Brasil. **Pesquisa**. 28 abr. 2021. Disponível em: <https://digital.concreteshow.com.br/negcios/uso-de-pavimento-de-concreto-ampliado-em-rodovias-do-brasil>. Acesso em: 15 mai. 2022.

SINALISA. Concreto. **Pesquisa**. Disponível em: <http://sinalisa.com.br/servicos/sinalizacao-horizontal/pavimento-colorido-e-antiderrapante/>. Acesso em: 5 mai. 2022.

SOUSA, W. F. **Estudo sobre a aplicação de agregado reciclado de concreto em construção de pavimentos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SOUZA, R. S. Terraplanagem e Pavimentação. **Notas de aula**. 10 mai. 2020. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17735/material/Aula%2019%20-%20Pavimenta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Execu%C3%A7%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20R%C3%ADgidos.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

STARK, R. E. **Road surface's reflectance: influences lighting design**. 1986. Disponível em: [https://www.vrmca.com/wp-content/uploads/2016/01/Reflectance\\_Article\\_by\\_Stark.pdf](https://www.vrmca.com/wp-content/uploads/2016/01/Reflectance_Article_by_Stark.pdf). Acesso em: 2 dez. 2021.

VALLEJO. Pavimento rígido x pavimento flexível. **Entrevista**. 21 ago. 2019. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/pavimento-rigido-flexivel/#:~:text=O%20pavimento%20r%C3%ADgido%20%C3%A9%20um,dura%2C%20aproximadamente%2C%2010%20anos>. Acesso em: 1 mai. 2022.

VIANA, H. M. F. Estudo das camadas do pavimento subleito. **Notas de aula** – Faculdade de Tecnologia e Ciência, Salvador, 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/70713481-Notas-de-aulas-de-pavimentacao-parte-8.html>. Acesso em: 1 dez. 2021.

VIZZONI, R. **Pavimento de concreto: solução sustentável e custo competitivo** - apresentação. São Paulo: ABCP, 2016.

ZANGEROLAMO, M. **Aplicação em passagens em nível de pisos de alta resistência em borracha reciclada em substituição ao asfalto e concreto**. 2015. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba, Piracicaba, 2015.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

**ANEXO A – Aumento de K devido à presença de sub-base de concreto rolado**



Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a (cm)		
CBR(%)	k(MPa/m)	10	12,5	20
2	16	65	77	98
3	24	87	101	126
4	30	101	118	145
5	34	111	128	158
6	38	120	138	169
7	41	127	145	177
8	44	133	152	186
9	47	140	159	194
10	49	144	164	199
11	51	148	168	204
12	53	152	173	209
13	54	154	175	211
14	56	158	179	216
15	57	160	182	219
16	59	164	186	224
17	60	166	188	226
18	61	168	190	229
19	62	170	192	231
20	63	172	194	233

Fonte: ANDRADE (2005).

**ANEXO B -Tensão equivalente - Com acostamento de concreto (Eixo simples/Eixo tandem duplo)**

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	4,18/3,48	3,65/3,10	3,37/2,94	3,19/2,85	2,85/2,74	2,72/2,72
11	3,68/3,07	3,23/2,71	2,99/2,56	2,83/2,47	2,55/2,35	2,43/2,32
12	3,28/2,75	2,88/2,41	2,67/2,26	2,54/2,17	2,29/2,05	2,19/2,02
13	2,95/2,49	2,60/2,17	2,41/2,02	2,29/1,94	2,07/1,82	1,99/1,78
14	2,68/2,27	2,36/1,97	2,19/1,83	2,08/1,75	1,89/1,63	1,81/1,59
15	2,44/2,08	2,15/1,80	2,00/1,67	1,90/1,59	1,73/1,48	1,66/1,44
16	2,24/1,93	1,97/1,66	1,84/1,53	1,75/1,46	1,59/1,35	1,53/1,31
17	2,06/1,79	1,82/1,54	1,70/1,42	1,62/1,35	1,48/1,24	1,42/1,20
18	1,91/1,67	1,69/1,43	1,57/1,32	1,50/1,25	1,37/1,15	1,32/1,11
19	1,77/1,57	1,57/1,34	1,46/1,23	1,40/1,17	1,28/1,07	1,23/1,03
20	1,65/1,48	1,46/1,26	1,37/1,16	1,30/1,10	1,19/1,00	1,15/0,96
21	1,55/1,40	1,37/1,19	1,28/1,09	1,22/1,03	1,12/0,93	1,08/0,90
22	1,45/1,32	1,29/1,12	1,20/1,03	1,15/0,97	1,05/0,88	1,01/0,85
23	1,37/1,26	1,21/1,07	1,13/0,98	1,08/0,92	0,99/0,83	0,96/0,80
24	1,29/1,20	1,15/1,01	1,07/0,93	1,02/0,87	0,94/0,79	0,90/0,76
25	1,22/1,14	1,08/0,97	1,01/0,88	0,97/0,83	0,89/0,75	0,86/0,72
26	1,16/1,09	1,03/0,92	0,96/0,84	0,92/0,79	0,84/0,71	0,81/0,68
27	1,10/1,04	0,98/0,88	0,91/0,81	0,87/0,76	0,80/0,68	0,77/0,65
28	1,05/1,00	0,93/0,85	0,87/0,77	0,83/0,73	0,76/0,65	0,74/0,62
29	1,00/0,96	0,89/0,81	0,83/0,74	0,79/0,70	0,73/0,62	0,70/0,60
30	0,95/0,93	0,85/0,78	0,79/0,71	0,76/0,67	0,70/0,60	0,67/0,57
31	0,91/0,89	0,81/0,75	0,76/0,69	0,72/0,64	0,67/0,58	0,64/0,55
32	0,87/0,86	0,78/0,73	0,73/0,66	0,69/0,62	0,64/0,55	0,62/0,53
33	0,84/0,83	0,74/0,70	0,70/0,64	0,67/0,60	0,61/0,53	0,59/0,51
34	0,80/0,80	0,71/0,68	0,67/0,62	0,64/0,58	0,59/0,52	0,57/0,49
35	0,77/0,78	0,69/0,66	0,64/0,60	0,61/0,56	0,57/0,50	0,55/0,47

Fonte: ANDRADE (2005).

**ANEXO C - Tensão equivalente para eixos tandem triplos (Sem acostamento de concreto/Com acostamento de concreto)**

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	3,36/2,87	3,10/2,67	3,02/2,60	2,98/2,57	2,94/2,56	2,93/2,57
11	2,92/2,50	2,64/2,29	2,55/2,22	2,50/2,18	2,45/2,16	2,44/2,16
12	2,60/2,20	2,30/2,00	2,20/1,93	2,14/1,89	2,08/1,85	2,07/1,85
13	2,35/1,97	2,04/1,78	1,93/1,70	1,87/1,66	1,80/1,61	1,78/1,61
14	2,15/1,78	1,83/1,59	1,72/1,52	1,65/1,48	1,58/1,43	1,55/1,42
15	1,99/1,62	1,67/1,44	1,55/1,37	1,48/1,33	1,40/1,27	1,37/1,26
16	1,85/1,49	1,54/1,32	1,41/1,24	1,34/1,20	1,25/1,15	1,23/1,13
17	1,73/1,38	1,43/1,21	1,30/1,14	1,23/1,10	1,14/1,04	1,11/1,03
18	1,62/1,28	1,34/1,12	1,21/1,05	1,14/1,01	1,04/0,96	1,01/0,94
19	1,53/1,19	1,26/1,04	1,13/0,98	1,06/0,94	0,96/0,88	0,92/0,86
20	1,45/1,12	1,19/0,98	1,07/0,91	0,99/0,87	0,89/0,82	0,85/0,80
21	1,37/1,05	1,13/0,92	1,01/0,85	0,93/0,81	0,83/0,76	0,79/0,74
22	1,30/0,99	1,07/0,86	0,95/0,80	0,88/0,76	0,78/0,71	0,74/0,69
23	1,24/0,93	1,02/0,81	0,91/0,76	0,84/0,72	0,73/0,67	0,70/0,65
24	1,18/0,88	0,97/0,77	0,87/0,71	0,80/0,68	0,69/0,63	0,66/0,61
25	1,13/0,84	0,93/0,73	0,83/0,68	0,76/0,64	0,66/0,59	0,62/0,57
26	1,07/0,79	0,89/0,70	0,79/0,64	0,73/0,61	0,63/0,56	0,59/0,54
27	1,02/0,75	0,86/0,66	0,76/0,61	0,70/0,58	0,60/0,53	0,57/0,52
28	0,98/0,72	0,82/0,63	0,73/0,59	0,67/0,56	0,58/0,51	0,54/0,49
29	0,93/0,68	0,79/0,60	0,71/0,56	0,65/0,53	0,55/0,49	0,52/0,47
30	0,89/0,65	0,76/0,58	0,68/0,54	0,63/0,51	0,53/0,46	0,50/0,45
31	0,85/0,62	0,73/0,55	0,66/0,51	0,60/0,49	0,51/0,44	0,48/0,43
32	0,81/0,59	0,70/0,53	0,63/0,49	0,58/0,47	0,50/0,43	0,46/0,41
33	0,77/0,57	0,68/0,51	0,61/0,47	0,56/0,45	0,48/0,41	0,45/0,39
34	0,73/0,54	0,65/0,49	0,59/0,46	0,55/0,43	0,46/0,39	0,43/0,38
35	0,70/0,52	0,63/0,47	0,57/0,44	0,53/0,42	0,45/0,38	0,42/0,36

Fonte: ANDRADE (2005).

**ANEXO D - Fatores de erosão - Juntas transversais com barras de transferência e com acostamento de concreto (Eixo simples/Eixo tandem duplo)**

Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	3,27/3,25	3,24/3,17	3,22/3,14	3,21/3,12	3,17/3,11	3,15/3,11
11	3,16/3,16	3,12/3,07	3,10/3,03	3,09/3,00	3,05/2,98	3,03/2,97
12	3,05/3,08	3,01/2,98	2,99/2,93	2,98/2,90	2,94/2,86	2,92/2,84
13	2,96/3,01	2,92/2,90	2,89/2,85	2,88/2,81	2,84/2,76	2,82/2,74
14	2,87/2,94	2,82/2,83	2,80/2,77	2,78/2,74	2,75/2,67	2,73/2,65
15	2,79/2,88	2,74/2,77	2,72/2,71	2,70/2,67	2,67/2,60	2,65/2,57
16	2,71/2,82	2,66/2,71	2,64/2,65	2,62/2,60	2,59/2,53	2,57/2,50
17	2,64/2,77	2,59/2,65	2,57/2,59	2,55/2,55	2,51/2,46	2,49/2,43
18	2,57/2,72	2,52/2,60	2,50/2,54	2,48/2,49	2,44/2,41	2,42/2,37
19	2,51/2,67	2,46/2,56	2,43/2,49	2,41/2,44	2,38/2,35	2,36/2,32
20	2,45/2,63	2,40/2,51	2,37/2,44	2,35/2,40	2,31/2,31	2,30/2,27
21	2,39/2,58	2,34/2,47	2,31/2,40	2,29/2,35	2,26/2,26	2,24/2,22
22	2,34/2,54	2,29/2,43	2,26/2,36	2,24/2,31	2,20/2,22	2,18/2,18
23	2,29/2,50	2,23/2,39	2,21/2,32	2,19/2,27	2,15/2,18	2,13/2,13
24	2,24/2,46	2,18/2,35	2,16/2,28	2,13/2,23	2,10/2,14	2,08/2,10
25	2,19/2,43	2,14/2,31	2,11/2,24	2,09/2,20	2,05/2,10	2,03/2,06
26	2,15/2,39	2,09/2,28	2,06/2,21	2,04/2,16	2,00/2,07	1,98/2,02
27	2,10/2,36	2,05/2,24	2,02/2,18	2,00/2,13	1,96/2,03	1,94/1,99
28	2,06/2,32	2,01/2,21	1,98/2,14	1,95/2,10	1,91/2,00	1,89/1,96
29	2,02/2,29	1,97/2,18	1,93/2,11	1,91/2,06	1,87/1,97	1,85/1,93
30	1,98/2,26	1,93/2,15	1,90/2,08	1,87/2,03	1,83/1,94	1,81/1,90
31	1,95/2,23	1,89/2,12	1,86/2,05	1,84/2,01	1,79/1,91	1,77/1,87
32	1,91/2,20	1,85/2,09	1,82/2,03	1,80/1,98	1,76/1,88	1,74/1,84
33	1,87/2,17	1,82/2,06	1,78/2,00	1,76/1,95	1,72/1,86	1,70/1,81
34	1,84/2,15	1,78/2,04	1,75/1,97	1,73/1,92	1,69/1,83	1,67/1,79
35	1,81/2,12	1,75/2,01	1,72/1,95	1,69/1,90	1,65/1,80	1,63/1,76

Fonte: ANDRADE (2005).

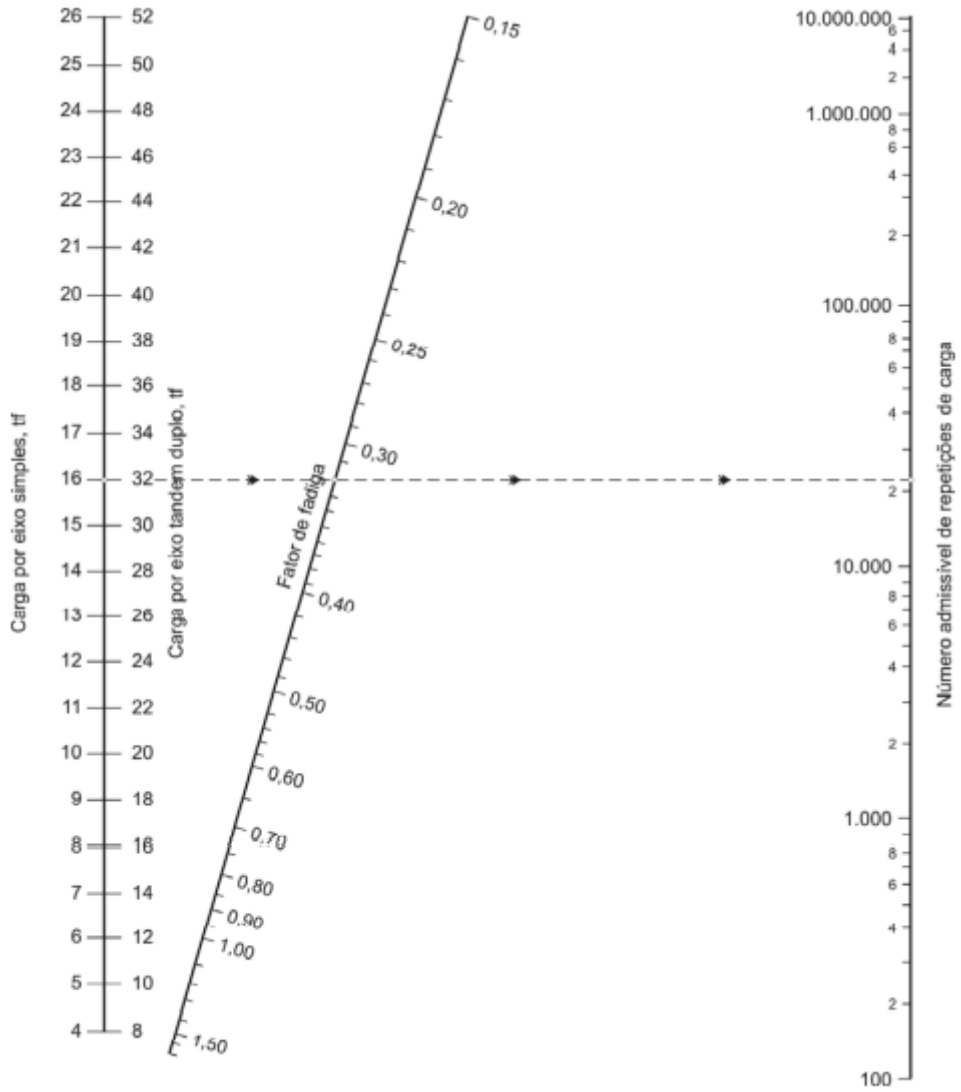
**ANEXO E – Fatores de erosão para eixos tandem triplos - Juntas transversais  
com barras de transferência (Sem acostamento de concreto / Com  
acostamento de concreto)**



Espessura da placa (cm)	k do sistema subleito-sub-base (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
10	3,86/3,27	3,80/3,17	3,75/3,13	3,71/3,12	3,62/3,07	3,56/3,03
11	3,76/3,19	3,69/3,07	3,65/3,02	3,62/3,00	3,53/2,95	3,48/2,92
12	3,68/3,12	3,60/2,99	3,56/2,93	3,52/2,90	3,45/2,85	3,40/2,82
13	3,60/3,06	3,51/2,92	3,47/2,85	3,44/2,81	3,37/2,76	3,33/2,73
14	3,53/3,00	3,43/2,86	3,39/2,78	3,36/2,74	3,29/2,67	3,26/2,64
15	3,47/2,95	3,36/2,80	3,31/2,73	3,28/2,67	3,22/2,59	3,19/2,56
16	3,41/2,91	3,30/2,76	3,25/2,67	3,21/2,62	3,15/2,52	3,12/2,49
17	3,35/2,86	3,24/2,71	3,19/2,62	3,15/2,57	3,08/2,47	3,05/2,43
18	3,30/2,82	3,19/2,67	3,13/2,58	3,09/2,52	3,02/2,41	2,99/2,37
19	3,25/2,79	3,14/2,63	3,08/2,54	3,04/2,48	2,96/2,37	2,93/2,32
20	3,21/2,75	3,09/2,59	3,03/2,50	2,99/2,44	2,91/2,32	2,88/2,28
21	3,16/2,72	3,05/2,56	2,99/2,47	2,94/2,40	2,86/2,28	2,83/2,23
22	3,12/2,68	3,01/2,53	2,94/2,43	2,90/2,37	2,82/2,25	2,78/2,20
23	3,08/2,65	2,97/2,49	2,90/2,40	2,86/2,34	2,77/2,21	2,74/2,16
24	3,05/2,62	2,93/2,46	2,86/2,37	2,82/2,31	2,73/2,18	2,69/2,13
25	3,01/2,59	2,89/2,44	2,83/2,34	2,78/2,28	2,69/2,15	2,65/2,10
26	2,98/2,57	2,86/2,41	2,79/2,32	2,74/2,25	2,66/2,12	2,62/2,07
27	2,94/2,54	2,82/2,38	2,76/2,29	2,71/2,22	2,62/2,10	2,58/2,04
28	2,91/2,51	2,79/2,36	2,72/2,26	2,68/2,20	2,59/2,07	2,55/2,01
29	2,88/2,49	2,76/2,33	2,69/2,24	2,65/2,17	2,55/2,04	2,51/1,99
30	2,85/2,47	2,73/2,31	2,66/2,22	2,62/2,15	2,52/2,02	2,48/1,96
31	2,82/2,44	2,70/2,29	2,63/2,19	2,59/2,13	2,49/2,00	2,45/1,94
32	2,80/2,42	2,68/2,26	2,61/2,17	2,56/2,10	2,46/1,97	2,42/1,92
33	2,77/2,40	2,65/2,24	2,58/2,15	2,53/2,08	2,44/1,95	2,40/1,89
34	2,74/2,38	2,62/2,22	2,55/2,13	2,50/2,06	2,41/1,93	2,37/1,87
35	2,72/2,36	2,60/2,20	2,53/2,11	2,48/2,04	2,38/1,91	2,34/1,85

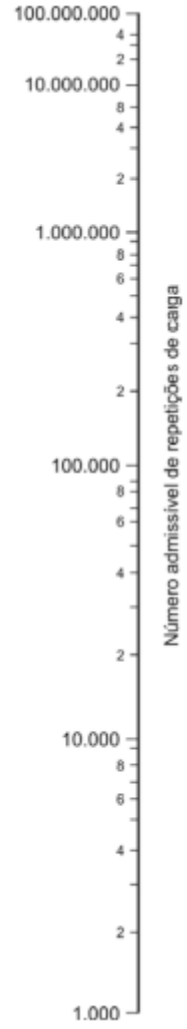
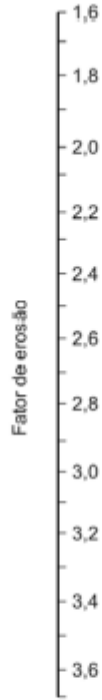
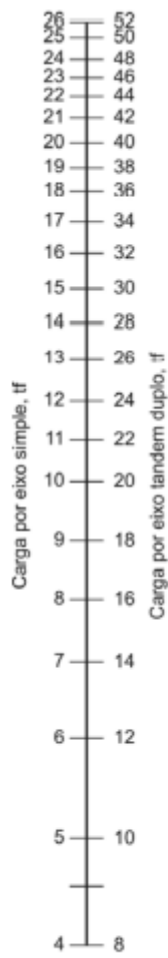
Fonte: ANDRADE (2005).

**Anexo F – Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com e sem acostamento de concreto)**



Fonte: DNIT (2005).

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



Fonte: DNIT (2005).