

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS-UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL**

ANTONIO PEROBA DE OLIVEIRA TEODORO

**DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO PARA O SISTEMA DE BRT
DE MACEIÓ**

**MACEIÓ
2025**

ANTONIO PEROBA DE OLIVEIRA TEODORO

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO PARA O SISTEMA DE BRT DE
MACEIÓ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Centro de
Tecnologia, como pré-requisito para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Aline Calheiros Es-
pindola

Maceió
2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

T314d Teodoro, Antonio Peroba de Oliveira .
Dimensionamento estrutural do pavimento para o sistema de BRT de
Maceió / Antonio Peroba de Oliveira Teodoro. - 2025.
84 f. : il.

Orientadora: Aline Calheiros Espindola.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2025.

Bibliografia: 50-51.
Anexos: f. 52-84.

1. Sistemas BRT. 2. Pavimentos rígidos. 3. Dimensionamento estrutural. 4.
PCA/1984. 5. Análise estrutural (Engenharia). I. Título.

CDU: 693.7(813.5)

AGRADECIMENTOS

À minha família, que acredita em meu potencial... À minha namorada, Duda, que não sai do meu lado... Aos meus amigos, que não me abandonam... Aos meus professores, que me inspiram.

Uma longa viagem começa com um único passo.

Lao-Tsé

RESUMO

Dada sua relevância para milhares de pessoas, o sistema de BRT (*Bus Rapid Transport*) exige um planejamento rigoroso e a garantia de funcionamento sem falhas. Nesse contexto, a estrutura de pavimentos, elemento essencial do sistema, é fundamental para assegurar a durabilidade e o sucesso do projeto. Este trabalho propõe a concepção de pavimento em concreto para a implementação do sistema de BRT nas avenidas Lourival Melo Mota, Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima em Maceió, com base em sua estrutura e custos. Para tanto, a metodologia desse trabalho é baseada em quatro etapas: i) caracterização do traçado do sistema de BRT, de forma a considerar o início e o fim do trajeto, e a largura das faixas de rolamento; ii) estudo de tráfego para a definição do veículo de projeto e do número de repetições de cargas previstas; iii) estudo do subleito da região para a caracterização e a determinação do CBR (*California Bearing Ratio*) do solo; e iv) dimensionamento do pavimento de concreto do sistema de BRT, a partir do método PCA/1984, e análise dos custos envolvidos na construção da estrutura, sem considerar os custos relacionados ao canteiro de obras, à sinalização viária, à movimentação de terra e ao transporte de materiais. O pavimento dimensionado é composto por uma camada de reforço de subleito, devido à baixa qualidade do solo, além das camadas de sub-base e revestimento de concreto. O custo da camada de revestimento representa 65,2% do valor total, em razão de seu elevado custo unitário e maior quantidade de material requerida. A estrutura dimensionada atende às demandas de tráfego intenso, assegurando durabilidade e eficiência operacional ao sistema de BRT. Assim, espera-se contribuir para a melhoria do transporte público e da mobilidade urbana em Maceió.

Palavras-chave: BRT. Pavimentos Rígidos. Dimensionamento Estrutural. PCA/1984.

ABSTRACT

Given its relevance to thousands of people, the BRT (Bus Rapid Transport) system requires rigorous planning and assurance of flawless operation. In this context, the pavement structure, an essential component of the system, plays a critical role in ensuring the durability and success of the project. This study proposes the design of a concrete pavement for implementing the BRT system along Lourival Melo Mota, Durval de Góes Monteiro, and Fernandes Lima avenues in Maceió, focusing on its structure and costs. The methodology is based on four stages: i) characterization of the BRT route, considering the starting and ending points and the lane widths; ii) traffic study to define the design vehicle and the expected number of load repetitions; iii) subgrade analysis to characterize the soil and determine its CBR (California Bearing Ratio); and iv) design of the concrete pavement using the PCA/1984 method and analysis of the costs involved in constructing the structure, excluding costs related to the construction site, road signage, earthworks, and material transportation. Due to the low quality of the soil, the designed pavement consists of a subgrade reinforcement layer, in addition to subbase and concrete surface layers. The concrete surface layer accounts for 65.2% of the total cost, given its high unit cost and the greater quantity of material required. The proposed structure meets the demands of heavy traffic, ensuring durability and operational efficiency for the BRT system. Thus, this study aims to contribute to improving public transportation and urban mobility in Maceió.

Keywords: BRT. Rigid Pavements. Structural Sizing. PCA/1984.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação da capacidade horária de usuários entre as ruas orientada para carros e ruas multimodais.	14
Figura 2 – Comparação da capacidade horária de usuários entre diferentes modais de transporte.	15
Figura 3 – Sistema de BRT.	18
Figura 4 – Qualidade dos transportes públicos sobre pneus.	19
Figura 5 – Configuração de via típica para um corredor BRT.	20
Figura 6 – Veículo articulado.	22
Figura 7 – Veículo biarticulado.	22
Figura 8 – Estrutura de um pavimento.	23
Figura 9 – Representação dos pavimentos rígidos, semirrígidos e flexíveis.	24
Figura 10 – Estrada construída com pavimento flexível.	24
Figura 11 – Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas.	25
Figura 12 – Rodovia com pavimentação rígida.	26
Figura 13 – Composição dos pavimentos rígidos.	26
Figura 14 – Representação de pavimento de concreto simples.	27
Figura 15 – Representação de pavimento de concreto simples com barras de transferência.	27
Figura 16 – Ação de carregamento sobre placas de concreto sem barras de transferência.	28
Figura 17 – Ação de carregamento sobre placas de concreto com barras de transferência.	28
Figura 18 – Representação de pavimento de concreto simples com armadura descontínua.	29
Figura 19 – Representação de pavimento de concreto simples com armadura contínua.	29
Figura 20 – Fissuras no revestimento de concreto da rodovia ERS-118.	31
Figura 21 – Curvas de fadiga baseadas nas relações de Tensões vs. Repetições de cargas.	32
Figura 22 – Relação entre o CBR e o coeficiente de recalque (k) do subleito.	33
Figura 23 – Resumo da metodologia adotada.	36
Figura 24 – Traçado do BRT de Maceió.	37
Figura 25 – Larguras das faixas esquerdas da av. Fernandes Lima nos sentidos Centro (linha vermelha) e Esut. Gomes (linha amarela).	37
Figura 26 – Veículos adotados na classificação do DNIT.	39
Figura 27 – Vias laterais da av. Durval de Góes Monteiro.	40
Figura 28 – Tela inicial do <i>software</i> IMEPAV.	41
Figura 29 – Estrutura do pavimento projetado.	46
Figura 30 – Gráfico de setores com a distribuição percentual dos custos de cada item para a implantação do pavimento.	49
Figura 31 – Aumento de k devido à presença de sub-base granular.	55
Figura 32 – Aumento de k devido à presença de sub-base de brita tratada com cimento.	56
Figura 33 – Aumento de k devido à presença de sub-base de solo-cimento.	57
Figura 34 – Aumento de k devido à presença de sub-base de concreto rolado.	58

Figura 35 – Análise de fadiga - número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de concreto).	71
Figura 36 – Análise de erosão - número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto).	72
Figura 37 – Análise de erosão - número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (com acostamento de concreto).	73
Figura 38 – Composição da regularização do subleito- parte 1.	78
Figura 39 – Composição da regularização do subleito- parte 2.	79
Figura 40 – Composição do reforço de subleito- parte 1.	80
Figura 41 – Composição do reforço de subleito- parte 2.	81
Figura 42 – Composição da sub-base- parte 1.	82
Figura 43 – Composição da sub-base- parte 2.	83
Figura 44 – Composição da sub-base- parte 3.	84
Figura 45 – Composição do revestimento de concreto- parte 1.	85
Figura 46 – Composição do revestimento de concreto- parte 2.	86
Figura 47 – Composição do revestimento de concreto- parte 3.	87
Figura 48 – Composição do revestimento de concreto- parte 4.	88
Figura 49 – Composição do revestimento de concreto- parte 5.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Opções de veículos para corredores de BRT	21
Tabela 2 – Cargas máximas e número de repetições de cada eixo do veículo de projeto .	39
Tabela 3 – Resultados do dimensionamento do revestimento de concreto do pavimento	45
Tabela 4 – Resumo das camadas do pavimento	46
Tabela 5 – Quantitativos de materiais utilizados na implantação do pavimento rígido . .	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – FSC em função do tipo de pavimento.	34
Quadro 2 – Boletim de sondagem.	43
Quadro 3 – CBRs de projeto.	44
Quadro 4 – Parâmetros utilizados no dimensionamento.	45
Quadro 5 – Resumo das composições utilizadas para a análise de custos para a implantação do pavimento rígido.	48
Quadro 6 – Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplos para pavimentos sem acostamento de concreto.	59
Quadro 7 – Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos para pavimentos sem acostamento de concreto.	60
Quadro 8 – Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplos para pavimentos com acostamento de concreto.	61
Quadro 9 – Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos para pavimentos com acostamento de concreto.	62
Quadro 10 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos sem acostamento de concreto.	63
Quadro 11 – Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos sem acostamento de concreto.	64
Quadro 12 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos com acostamento de concreto.	65
Quadro 13 – Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos com acostamento de concreto.	66
Quadro 14 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos sem acostamento de concreto.	67
Quadro 15 – Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos sem acostamento de concreto.	68
Quadro 16 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos com acostamento de concreto.	69
Quadro 17 – Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos com acostamento de concreto.	70
Quadro 18 – Resumo dos resultados dos ensaios do Índice de Suporte Califórnia.	74
Quadro 19 – Resumo dos resultados dos ensaios de compactação.	75
Quadro 20 – Resumo dos resultados das determinações dos Limites de Plasticidade e Liquidez.	76
Quadro 21 – Resumo dos resultados das análises granulométricas por peneiramento simples.	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
BRT	<i>Bus Rapid Transport</i>
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CMT	Carga Máxima de Tração
DMTT	Departamento Municipal de Transportes e Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ED	Eixo Duplo
ES	Eixo Simples
FSC	Fator de Segurança para as Cargas
IME	Instituto Militar de Engenharia
ITDP	Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento
PBT	Peso Bruto Total
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
RD	Roda Dupla
RS	Roda Simples
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos

LISTA DE SÍMBOLOS

\overline{CBR}	CBR Médio
$CBR_{projeto}$	CBR de Projeto
σ	Desvio Padrão das Amostras
k	Coefficiente de Recalque
N	Número de Amostras

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVO GERAL	16
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	SISTEMAS DE BRT	18
2.1.1	Corredores	20
2.1.2	Veículos	21
2.2	PAVIMENTOS	22
2.2.1	Pavimento Flexível	24
2.2.2	Pavimento Semirrígido	25
2.2.3	Pavimento Rígido	25
2.3	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	30
3	METODOLOGIA	36
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO TRAÇADO	36
3.2	ESTUDO DE TRÁFEGO	38
3.3	ESTUDO DO SUBLEITO	40
3.4	PROJETO DO PAVIMENTO	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO	43
4.1.1	Subleito	43
4.1.2	Sub-base	44
4.1.3	Revestimento	44
4.2	ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO PAVIMENTO	46
4.2.1	Quantitativos de Materiais	46
4.2.2	Cálculo dos custos	47
5	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51
	ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO RÍ- GIDO COM O MÉTODO PCA/1984	53
	ANEXO B – RESULTADOS DO ESTUDO DE SUBLEITO	74

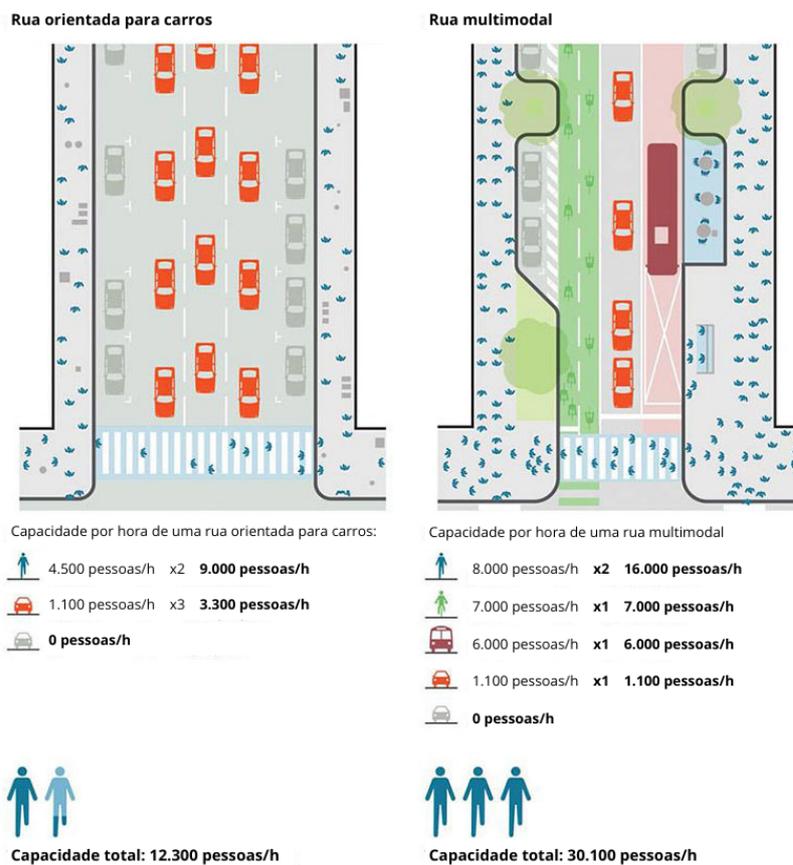
ANEXO C – DETALHES DAS COMPOSIÇÕES	78
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

O objetivo do transporte público urbano é promover meios de deslocamento seguros e eficientes à população, de forma sustentável, acessível e democrática. Assim, os transportes coletivos devem reduzir a quantidade de veículos que trafegam nas avenidas e possibilitar o deslocamento das pessoas, independentemente de suas classes sociais e limitações físicas.

A adoção de ruas com multimodais de transportes, em detrimento a ruas orientadas para carros, proporciona um melhor aproveitamento dos espaços públicos e apresentam uma maior capacidade por hora de usuários. Essa abordagem viabiliza a implementação de ciclovias e parques lineares, promovendo um ambiente urbano mais eficiente e sustentável, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Comparação da capacidade horária de usuários entre as ruas orientada para carros e ruas multimodais.

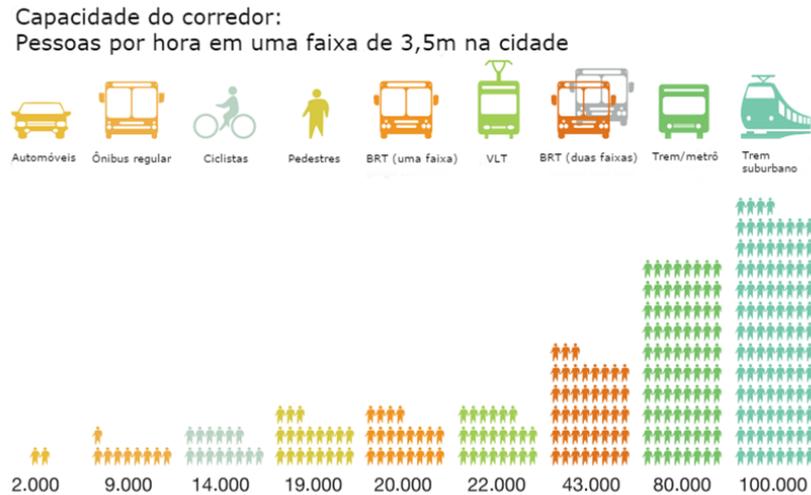


Fonte: Adaptado de Initiative e Officials (2016).

No Brasil, os ônibus representam 85,7% das viagens realizadas por transporte coletivo (NTU, 2021). A Figura 2 ilustra a capacidade horária de diferentes modais em uma faixa de

via com 3,5 m de largura. Nota-se que um sistema BRT, mesmo utilizando apenas uma faixa, pode transportar mais que o dobro de passageiros em comparação com os ônibus convencionais, evidenciando sua eficiência na mobilidade urbana.

Figura 2 – Comparação da capacidade horária de usuários entre diferentes modais de transporte.



Fonte: Adaptado de Hickman *et al.* (2011).

No cenário atual, em que cidades brasileiras de grande e médio porte, como Maceió, enfrentam problemas de engarrafamentos e superlotação no transporte público, torna-se essencial adotar soluções mais eficientes para atender melhor à população. Em comparação com outros modais de transporte coletivo, como o VLT, Cavalcante (2024) conclui que o BRT apresenta vantagens para a implementação nas avenidas Lourival Melo Mota, Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima, em Maceió, devido ao menor custo de implantação por aproveitar a infraestrutura das faixas de trânsito existentes na região.

Em virtude do intenso tráfego de veículos comerciais, o pavimento das vias do sistema de BRT deve suportar grandes cargas. Portanto, para garantir a durabilidade e eficiência do sistema, as vias do BRT são construídas com pavimentação rígida, que apresenta maior capacidade de carga e vida útil em comparação aos pavimentos flexíveis e semirrígidos.

O dimensionamento adequado da estrutura de pavimento no sistema BRT é essencial para evitar desperdícios de recursos, tanto durante a construção, prevenindo o superdimensionamento, quanto na fase operacional, garantindo a durabilidade estrutural ao longo da vida útil do sistema.

1.1 JUSTIFICATIVA

A fim de tornar o transporte público de Maceió mais atrativo, eficiente e confortável, a prefeitura do município contratou em 2022 o projeto de um sistema de BRT que atravessa as avenidas Lourival de Melo Motta, Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima (Gomes, 2022). Finalizado em 2024 (Ministério. . . , 2024), o projeto contratado busca atender 600 mil pessoas, o que corresponde a 65% da população da capital.

Dada a sua importância para a vida de milhares de pessoas, o sistema de BRT exige um planejamento rigoroso e a garantia de funcionamento sem falhas. Nesse contexto, a estrutura de pavimentos, como uma das partes essenciais do sistema, desempenha um papel fundamental para assegurar o sucesso e a durabilidade do projeto.

1.2 OBJETIVO GERAL

Propor concepção de pavimento em concreto para a implementação do sistema de *Bus Rapid Transport* (BRT) nas avenidas Lourival Melo Mota, Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima em Maceió, com base em sua estrutura e custos.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar a placa de concreto a fim de atender aos carregamentos das composições do BRT quanto aos critérios de fadiga e erosão;
- Elaborar o quantitativo de materiais necessários para a construção da infraestrutura do pavimento do BRT;
- Estimar os custos para a implantação do pavimento com base nos quantitativos calculados.

1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Dada a ausência de estudos de solo da região, o trabalho avaliará a formação e a resistência do subleito com base nos dados do projeto executivo de implantação das vias Laterais da Avenida Durval de Góes Monteiro.

A estimativa de custos elaborada neste estudo não inclui custos relacionados ao canteiro de obras, à sinalização viária, à movimentação de terra e ao transporte de materiais. Os valores utilizados como referência para esta análise estão limitados aos constantes no Sistema de Custos

Referenciais de Obras (SICRO), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir, são apresentadas as referências que definem os sistemas de BRT (*Bus Rapid Transport*), os distintos tipos de pavimentos, bem como os métodos de dimensionamento de pavimentos rígidos adotados para a execução deste trabalho.

2.1 SISTEMAS DE BRT

O sistema de transporte rápido por ônibus, ou BRT (*Bus Rapid Transit*), é definido pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP) como “(...) um corredor de ônibus de alta capacidade que pode proporcionar um serviço rápido, confortável e de alto custo-benefício, com capacidade equivalente aos sistemas de metrô” ITDP Brasil (2015). Representado na Figura 3, o BRT é uma solução eficiente para transporte urbano, capaz de atender até 45.000 passageiros por hora, em contraste com os ônibus convencionais, que transportam cerca de 3.000 passageiros no mesmo período (Lerner, 2009).

Figura 3 – Sistema de BRT.



Fonte: Disponível em: <<https://transportemoderno.com.br/2017/06/06/expansao-dos-sistemas-de-brt-ativara-o-mercado-de-onibus-e-trara-a-geracao-de-milhares-de-empregos-diretos/>>. Acesso em: 11 de nov. de 2024.

Os sistemas de BRT bem-sucedidos compartilham características que maximizam sua eficiência operacional. Segundo Branco (2013), destacam-se os seguintes elementos:

- Corredores exclusivos ou com prioridade ao transporte coletivo;
- Entrada e saída de passageiros de nível;

- Sistemas tarifários de pré-pagamento e integrados;
- Veículos de alta capacidade, modernos e com tecnologias mais limpas;
- Transbordos facilitados;
- Programação e controle rigorosos da operação;
- Sinalização e informação aos usuários.

Esses fatores contribuem para a eficiência e popularidade do BRT, consolidando-o como uma alternativa viável e de alto desempenho para o transporte urbano. Entretanto, nem todos os sistemas de BRT possuem essa estrutura completa. Nesse sentido, Wright e Hook (2008) classificam os serviços de transporte públicos sobre pneus conforme sua qualidade, como mostra a Figura 4, em que os serviços de transporte alternativos representam o modelo mais simples e o BRT Completo, o mais avançado. Nota-se, também, que os serviços de BRT são divididos em três categorias: BRT-leve, BRT e BRT Completo, os autores justificam uma variedade de sistemas de BRT por conta de fatores como preferências locais e culturais, população total, densidade populacional, distribuição de viagens, clima, geografia, topografia, recursos financeiros disponíveis e a vontade política para implementar um sistema de qualidade.

Figura 4 – Qualidade dos transportes públicos sobre pneus.

Serviços de transportes alternativos	Serviços de ônibus convencional	Corredores Básicos	BRT-leve	BRT	BRT Completo
<ul style="list-style-type: none"> ➢ Operadores sem regulamentação ➢ Similares a taxis (lotações) ➢ Serviço ruim ➢ Pouca segurança no trânsito/ segurança pessoal ➢ Veículos velhos e pequenos 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Operação privada ou pública ➢ Normalmente subsidiados ➢ Cobrança dentro do ônibus ➢ Paradas sinalizadas com postes ou coberturas bem simples ➢ Serviço ruim ➢ Ônibus tamanho padrão 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Vias segregadas em corredores isolados ➢ Cobrança dentro do ônibus ➢ Paradas com coberturas simples ➢ Ônibus tamanho padrão 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Algumas forma de prioridade, mas não vias totalmente segregadas ➢ Melhores tempos de viagem ➢ Paradas de melhor qualidade ➢ Tecnologia veicular (de emissões) limpa ➢ Identidade de mercado 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Vias segregadas ➢ Tipicamente cobrança externa ➢ Estações de melhor qualidade ➢ Tecnologia veicular (de emissões) limpa ➢ Identidade de mercado 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Serviço de metrô ➢ Rede de linhas e corredores integrados ➢ Estações fevhadas de alta-qualidade ➢ Cobrança externa ➢ Serviço rápido e frequente ➢ Veículos modernos, tecnologia (emissões) limpas ➢ Identidade de mercado ➢ Superior customer service

Fonte: Wright e Hook (2008).

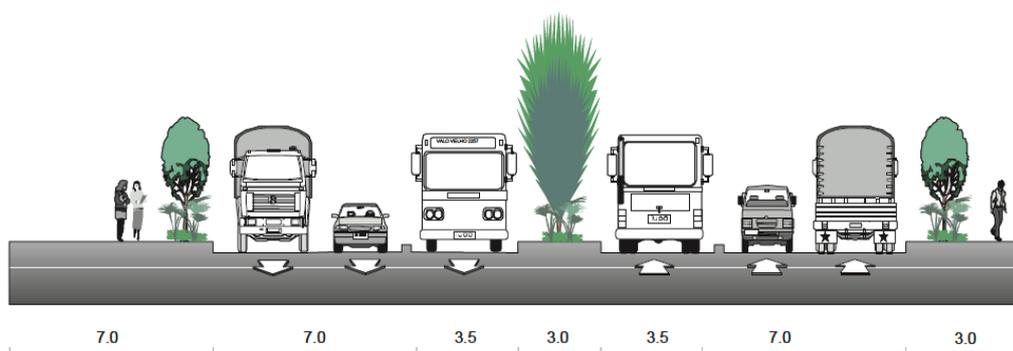
2.1.1 Corredores

Wright e Hook (2008), em seu "Manual de BRT", destacam que o primeiro passo para a análise de opções de corredores de transporte é registrar a largura das vias, que é o espaço atual utilizado por veículos motorizados, e das "faixas de servidão", referentes à distância "muro a muro" de um lado ao outro da rua, o que inclui canteiros centrais, ciclovias, calçadas e espaços abertos, além da rua.

Além disso, os Autores recomendam que o levantamento inicial contemple características específicas do corredor, tais como: as condições atuais das áreas de canteiros centrais, ou seja, se o canteiro é uma área aberta, ou possui infraestrutura significativa ou grandes árvores; se as passagens de pedestres são adequadas para oferecer acesso ao sistema de transporte público ou precisarão ser ampliadas; e se há interseções complicadas ao longo do corredor, como rotatórias com fontes ou outros trabalhos de arte. Essa pesquisa inicial tem grande importância, pois destaca os principais desafios encontrados e leva a busca por soluções práticas para esses desafios.

Os Autores também salientam que não existem regras rígidas sobre a largura das vias, mas que, em situações ideais, a largura da via deve abrigar uma estação no canteiro central, uma ou duas faixas de ônibus, duas faixas de tráfego misto e um espaço adequado para pedestres e ciclistas, conforme representado na Figura 5. As faixas medem geralmente 3,5 m, contudo, podem ser tão estreitas quanto 3,0 m, como o BRT do centro histórico de Quito, uma vez que um veículo de BRT e vários caminhões medem 2,6 m de largura, e um carro padrão mede de 2,0 a 2,2 m.

Figura 5 – Configuração de via típica para um corredor BRT.



Fonte: Wright e Hook (2008).

2.1.2 Veículos

O tamanho e o design dos veículos que de um sistema de BRT são fatores cruciais na definição do projeto, como apontado por Wright e Hook (2008). No entanto, nem sempre os veículos de maior porte são os mais adequados. Embora apresentem um custo operacional reduzido, especialmente no que se refere ao custo de mão de obra de motoristas por passageiro transportado, em corredores com baixa demanda esses veículos têm menor frequência, o que gera um maior tempo de espera para os passageiros. A Tabela 1 apresenta o comprimento médio e uma faixa de capacidade de veículos utilizados em corredores de BRT.

Tabela 1 – Opções de veículos para corredores de BRT.

Tipo de Veículo	Comprimento (m)	Capacidade (passageiros/veículo)
Biarticulado	24,0	240-270
Articulado	18,5	120-170
Padrão	12,0	60-80
Micro-ônibus	6,0	25-35

Fonte: Wright e Hook (2008).

Por fim, os Autores informam que o veículo articulado, ilustrado na Figura 6, tem se tornado padrão nos sistemas de BRT, em detrimento aos biarticulados, representados na Figura 7, que tem seu uso apenas na cidade de Curitiba-PR. Segundo os Autores, as razões para o domínio dos veículos articulados sobre os biarticulados, são:

- Pedidos de grandes números de veículos articulados geraram economias de custo de escala na fabricação;
- Atualmente, poucos fabricantes oferecem veículos biarticulados e, assim, o poder de competição durante o processo de licitação é limitado;
- O maior peso dos veículos biarticulados reduz a eficiência de combustível e a capacidade de acelerar rapidamente;
- O comprimento dos veículos biarticulados pode gerar dificuldades em relação ao comprimento disponível para estações.

Figura 6 – Veículo articulado.



Fonte: Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%94nibus_articulado>. Acesso em: 20 de nov. de 2024.

Figura 7 – Veículo biarticulado.



Fonte: Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/passageiros-destacam-espaco-interno-do-novo-biarticulado/44388>>. Acesso em: 20 de nov. de 2024.

2.2 PAVIMENTOS

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), o pavimento é definido como:

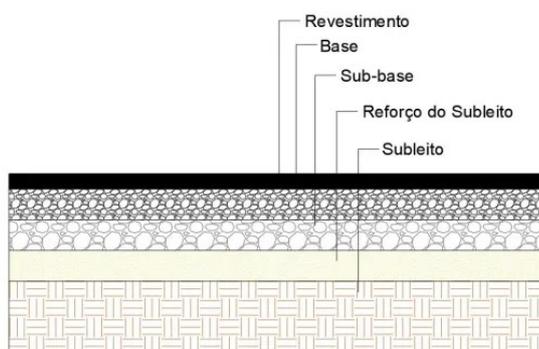
"(...) uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança".

Essa estrutura de múltiplas camadas é composta por quatro partes principais, ilustradas na Figura 8, cada uma desempenhando um papel específico na resistência e durabilidade do

pavimento (Medina; Motta, 2015):

- i. **Subleito:** Terreno formado após a terraplenagem que funciona como fundação do pavimento. Caso o terreno não possua resistência adequada, admite-se o uso de uma camada extra de reforço de subleito;
- ii. **Sub-base:** Camada corretiva do subleito, utilizada quando não é indicado construir o pavimento diretamente sobre o subleito obtido após a terraplenagem;
- iii. **Base:** Destina-se a resistir e transferir para as camadas inferiores os esforços verticais provenientes dos veículos sobre revestimento;
- iv. **Revestimento:** Camada, o quanto possível impermeável, destinada a receber o rolamento dos veículos, de forma a resistir aos esforços horizontais atuantes, além de proporcionar conforto e segurança ao rolamento.

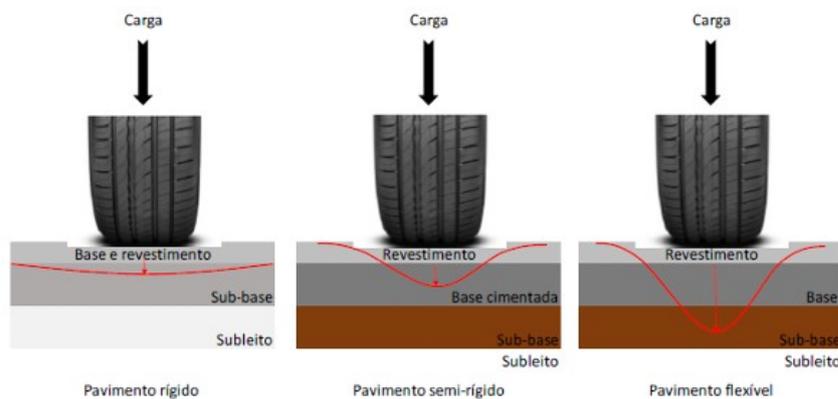
Figura 8 – Estrutura de um pavimento.



Fonte: Disponível em: <<https://alemdainercia.com/2021/04/19/estas-sao-as-funcoes-dos-pavimentos/>>. Acesso em: 06 de nov. de 2024.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) classifica os pavimentos rodoviários em três tipos, conforme sua rigidez: flexível, semirrígido e rígido (DNIT, 2006b). A Figura 9 representa esses pavimentos.

Figura 9 – Representação dos pavimentos rígidos, semirrígidos e flexíveis.



Fonte: Moura (2024).

2.2.1 Pavimento Flexível

O pavimento flexível, ilustrado na Figura 10, é caracterizado como uma estrutura em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado. Dessa forma, a carga se distribui de maneira relativamente uniforme entre as camadas, proporcionando resistência e absorção dos esforços causados pelo tráfego (DNIT, 2006b).

Figura 10 – Estrada construída com pavimento flexível.



Fonte: Disponível em: <<https://asfalto.pavbras.com.br/recuperacao-de-pavimento/recuperacao-de-pavimentos-flexiveis/empresa-de-recuperacao-de-pavimento-flexivel-planalto>>. Acesso em: 07 de nov. de 2024.

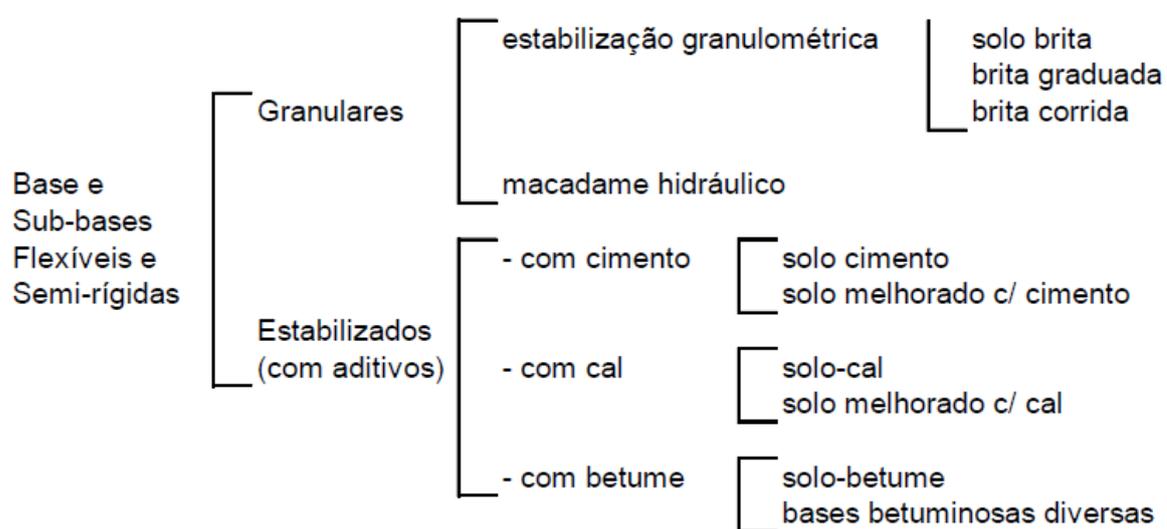
Esses pavimentos são construídos com uma ou mais camadas de revestimento compostas por misturas asfálticas, como o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e os Tratamentos Superficiais, que combinam agregados granulares com ligantes asfálticos. As camadas abaixo

do revestimento são formadas por materiais granulares, solo, misturas entre solos e agregados, etc. (Bernucci *et al.*, 2008).

2.2.2 Pavimento Semirrígido

Semelhante ao flexível, o pavimento semirrígido possui revestimento asfáltico, mas sua base, ou sub-base, é cimentada por aglutinantes cimentícios, o que garante relativa resistência à tração nessas camadas (Bernucci *et al.*, 2008). A Figura 11 resume os diferentes tipos de base e sub-base utilizadas para a construção de pavimentos flexíveis e semirrígidos.

Figura 11 – Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas.



Fonte: DNIT (2006b).

2.2.3 Pavimento Rígido

O pavimento rígido, ilustrado na Figura 12, é composto por placas de concreto resultantes da mistura de cimento Portland com agregados granulares, pode-se, também, incluir aditivos e fibras à mistura. Devido a elevada rigidez de seu revestimento em comparação com as camadas inferiores, ele absorve praticamente todas as tensões do carregamento aplicado (DNIT, 2006b).

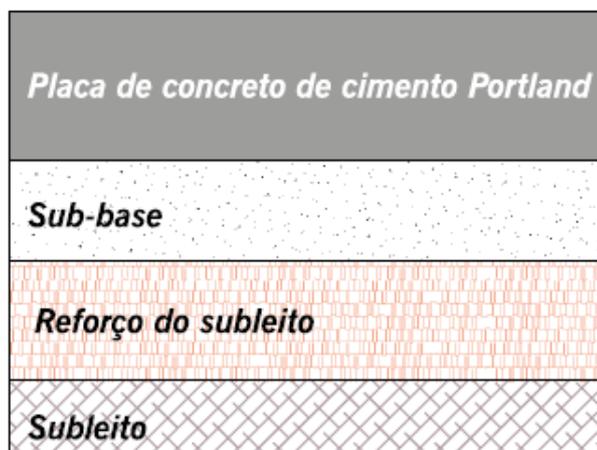
Figura 12 – Rodovia com pavimentação rígida.



Fonte: Disponível em:
<<https://wasaki.com.br/pavimento-rigido-x-pavimento-flexivel-quais-as-principais-diferencas/o>>.
Acesso em: 08 de nov. de 2024.

A camada abaixo do revestimento rígido é designada como sub-base, pois possui materiais equivalentes aos da sub-base de pavimentos asfálticos (Bernucci *et al.*, 2008), como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Composição dos pavimentos rígidos.



Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.* (2008).

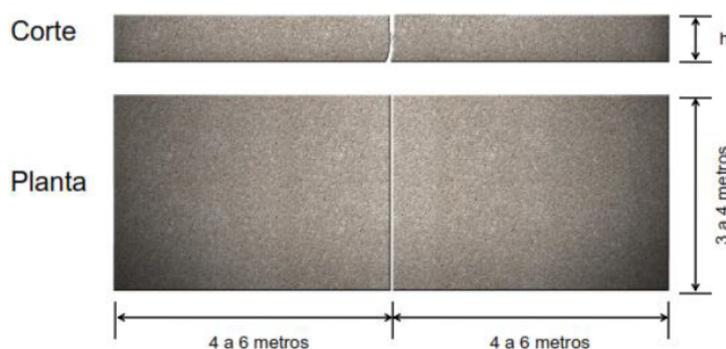
O "Manual de Pavimentos Rígidos" do DNIT (DNIT, 2005) apresenta métodos de dimensionamento de cinco tipos de revestimento de concreto:

- i. **Pavimentos de Concreto Simples**- Utilizados para a construção de rodovias, caracterizam-se por combater as tensões solicitantes apenas pelo concreto, sem a necessidade de armaduras distribuídas. Excetuando-se sistemas de ligação ou de transferência de carga

entre as placas, além de armaduras para combater as fissuras decorrentes da expansão térmica das placas. O Manual indica quatro tipos de pavimentos de Concreto Simples:

- a) **Pavimentos de concreto simples sem armadura**, representados na Figura 14, possuem como única forma de transferência de carga a entrosagem entre os agregados, o que exige placas curtas de 5 a 6 metros;

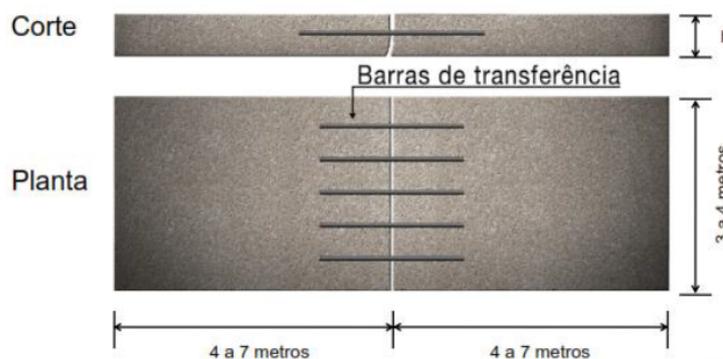
Figura 14 – Representação de pavimento de concreto simples.



Fonte: Leme (2021).

- b) **Pavimentos de concreto simples com barras de transferência**, representados na Figura 15, o que permite a execução de placas entre 9 e 12 metros. Essas barras desempenham um papel fundamental ao minimizar o recalque diferencial entre as placas, o que contribui para retardar o processo de erosão nas juntas.

Figura 15 – Representação de pavimento de concreto simples com barras de transferência.



Fonte: Leme (2021).

As Figuras 16 e 17 ilustram a ação do carregamento de um eixo, P , sobre placas de concreto sem e com barras de transferência, respectivamente. Na ausência de barras de transferência, observa-se o recalque diferencial entre as placas, que provoca o

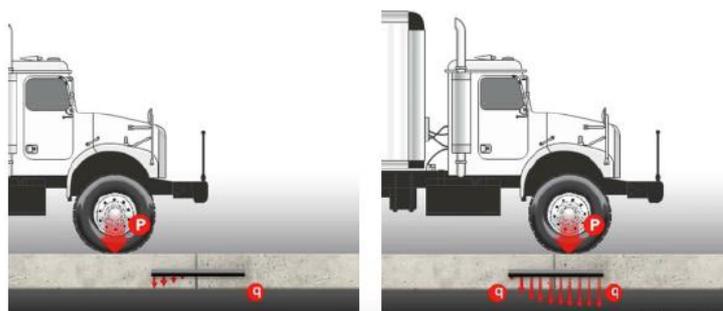
bombeamento de finos para a superfície e acelera a erosão das bordas. Ao utilizar barras de transferência, o carregamento P transforma-se em carregamentos distribuídos, q , entre as placas, o que evita o recalque diferencial entre elas;

Figura 16 – Ação de carregamento sobre placas de concreto sem barras de transferência.



Fonte: Leme (2021).

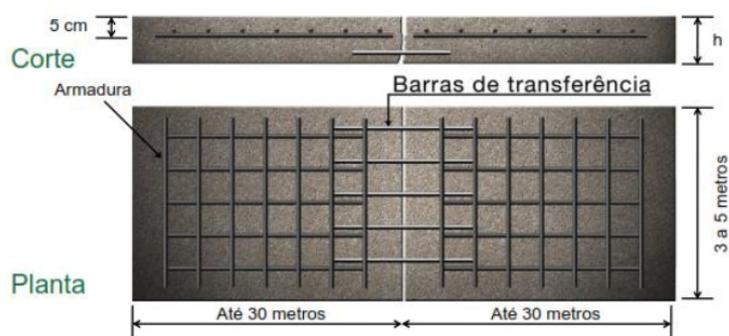
Figura 17 – Ação de carregamento sobre placas de concreto com barras de transferência.



Fonte: Leme (2021).

- c) **Pavimentos de concreto com armadura distribuída descontínua**, representados na Figura 18, com placas de até 30 metros de comprimento, possuem armadura distribuída para evitar fissuras devido a expansão térmica do concreto e não para combater os esforços de tração que atuam sobre as placas;

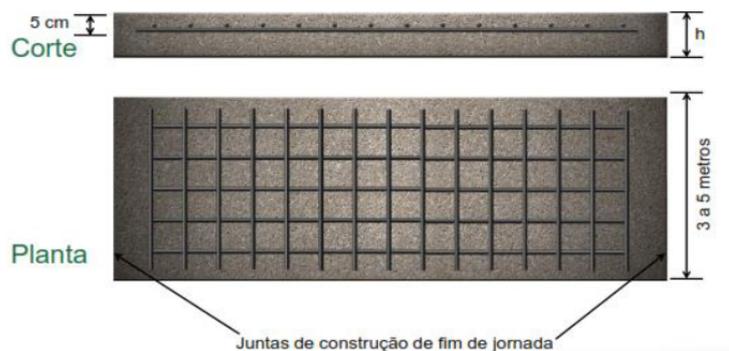
Figura 18 – Representação de pavimento de concreto simples com armadura descontínua.



Fonte: Leme (2021).

- d) **Pavimentos de concreto com armadura distribuída contínua**, ilustrados na Figura 19, sem juntas transversais de retração e com placas construídas em uma única extensão diária. Novamente, a armadura combate apenas a fissuração.

Figura 19 – Representação de pavimento de concreto simples com armadura contínua.



Fonte: Leme (2021).

- ii. **Pavimentos de Concreto Whitetopping**- Destinado ao reforço e reabilitação de pavimentos com o uso de Concreto Simples;
- iii. **Pavimentos de Sobre-lajes sobre Estruturas de Concreto**- Presentes em tabuleiros de pontes e viadutos, ou sobre uma estrutura de concreto qualquer, não requerem o emprego de métodos de dimensionamento. Assim, a espessura e a armação destes pavimentos são feitas a partir da experiência e observação de seu desempenho;
- iv. **Pavimentos Estruturalmente Armados**- Normalmente aplicados na construção de pátios, utilizam um sistema de armaduras para combater os esforços do tráfego e da retração;

- v. **Pavimentos com Peças Pré-moldadas de Concreto-** Utilizados em locais com fluxos de baixa velocidade como acostamentos, recuos e pátios. Devem atender os requisitos da norma NBR 9781/2013 (ABNT, 2013).

Por fim, Silva *et al.* (2018) conclui que o pavimento rígido apresenta um melhor custo benefício em relação ao flexível para a implantação de um sistema de BRT, pois, apesar de possuir um maior custo para implantação, o pavimento rígido demanda menos manutenção e apresenta uma durabilidade maior. Nesse sentido, Balbo (2009) destaca a importância do uso de barras de transferência em pavimentos de concreto simples utilizados para o tráfego de ônibus.

"O corredor de ônibus 9 de julho- Santo Amaro, na cidade de São Paulo, foi construído em 1985, com pavimento de concreto simples sem barras de transferência em suas baias para paradas de ônibus. Fissurações associadas à região de juntas transversais, com subsequente escalonamento entre placas de concreto, com prejuízos evidentes ao tráfego, exigiram a reconstrução desses pavimentos em 1995, dessa vez com barras de transferência e bases em concreto compactado com rolo. Esse pavimento foi demolido em 2004 para a construção de um novo corredor de transporte coletivo, empregando-se novamente o pavimento de concreto simples com barras de transferência". (Balbo, 2009).

2.3 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

No "Manual de Pavimentos Rígidos"(DNIT, 2005) são apresentados dois métodos amplamente adotados para o dimensionamento de pavimentos rodoviários de concreto, ambos desenvolvidos pela *Portland Cement Association* (PCA): o PCA/1966 e o PCA/1984.

O método PCA/1966, consolidado no Brasil devido à sua longa aplicação prática, utiliza um modelo estrutural de placas elásticas apoiadas em uma fundação contínua e define a espessura da camada de revestimento com base na análise da fadiga, ou seja, no aparecimento de fissuras ao fim da vida útil do pavimento, como ilustrado na Figura 20.

Figura 20 – Fissuras no revestimento de concreto da rodovia ERS-118.

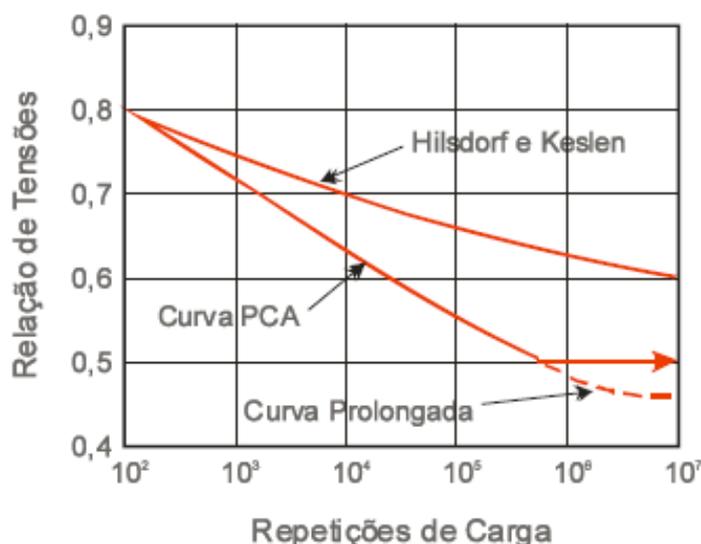


Fonte: Bolina e Tutikian (2014).

Esse método é baseado na Lei de Miner, em que a resistência à fadiga não consumida por uma determinada classe de carga permanece disponível para ser utilizada por outras cargas. O dano total é obtido como a soma dos consumos individuais da resistência à fadiga. Quando as relações de tensões ficam abaixo de 0,5 vezes a resistência do material, as repetições de cargas permitidas são consideradas ilimitadas.

O método PCA/1984, mais moderno, considera as relações de tensões menores que 0,5 para calcular o número de repetições de carga permitidas. A Figura 21, apresenta as curvas de fadiga, baseadas nas relações entre tensões e repetições de cargas, o que demonstra a relevância dessas variáveis no processo de dimensionamento.

Figura 21 – Curvas de fadiga baseadas nas relações de Tensões vs. Repetições de cargas.



Fonte: DNIT (2005).

Além disso, o PCA/1984 incorpora o modelo de erosão para o dimensionamento do pavimento. O DNIT define o processo de erosão nos pavimentos rígidos como:

"(...) perda de material da camada de suporte direto da placa de concreto, por ação combinada da água e da passagem de cargas (principalmente dos eixos múltiplos), dando-se o fato também nas laterais do pavimento.

Os efeitos da erosão manifestam-se sob a forma de deformações verticais críticas, nos cantos e nas bordas longitudinais das placas..."DNIT (2005).

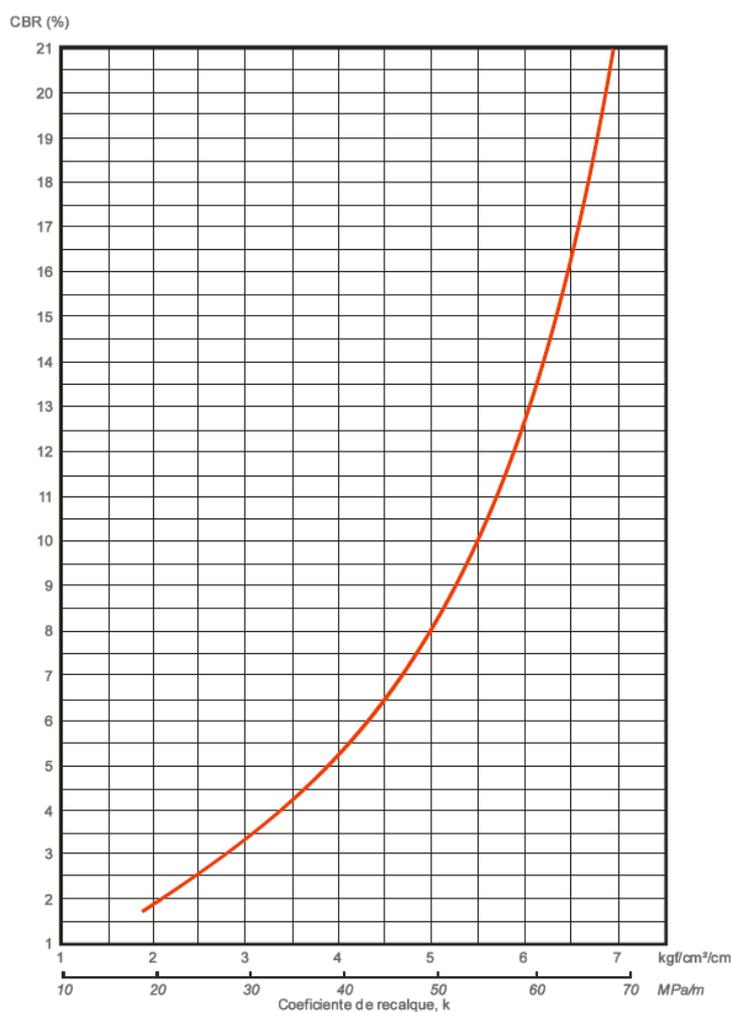
Para tanto, esse método se fundamenta em quatro pontos:

- i. Estudos teóricos sobre o comportamento de placas de concreto desenvolvidos por Westergaard (1925) e Pickett e Ray (1951), além de análises computacionais a partir do Método dos Elementos Finitos;
- ii. Ensaio de laboratório e em modelos sobre o comportamento e influência de juntas, sub-bases e acostamentos no desempenho de pavimentos de concreto;
- iii. Pistas experimentais, principalmente da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), além de estudos realizados por diversos órgãos rodoviários e aeroportuários;
- iv. Observação metódica de pavimentos em serviço.

O método PCA/1984 permite determinar a espessura das placas do revestimento de pavimentos de concreto, seja em configurações de concreto simples com ou sem barras de transferência, ou com armaduras contínuas ou descontínuas sem função estrutural. Para tanto, o método necessita dos seguintes parâmetros de entrada:

- Período de projeto, ou seja, a vida útil que se espera do pavimento, não menos que 20 anos e não mais que 50 anos;
- Coeficiente de Recalque, k , do subleito, conforme a Figura 22, que relaciona k ao Índice de Suporte Califórnia, ou CBR (*California Bearing Ratio*), do subleito;

Figura 22 – Relação entre o CBR e o coeficiente de recalque (k) do subleito.



Fonte: DNIT (2005).

- Tipo de sub-base:
 - Sem sub-base;

- Granular;
 - Solo-cimento;
 - Solo melhorado com cimento;
 - Concreto rolado.
- Se possui ou não acostamento de concreto;
 - Se possui ou não juntas com barras de transferência;
 - Projeção do tráfego de veículos comerciais para o período de projeto, considerando:
 - A taxa de crescimento do tráfego na região, estimada para calcular o tráfego acumulado no período de projeto;
 - A distribuição dos eixos por veículos (eixos simples, tandem duplos e tandem triplos);
 - As cargas aplicadas por eixo.
 - FSC (Fator de Segurança para as Cargas), aplicado como fator multiplicador nas cargas por eixo para garantir a durabilidade do pavimento diante de incertezas no tráfego e condições operacionais. Seus valores estão relacionados no Quadro 1;

Quadro 1 – FSC em função do tipo de pavimento.

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

Fonte: DNIT (2005).

- Estimativa de espessura do revestimento do pavimento.

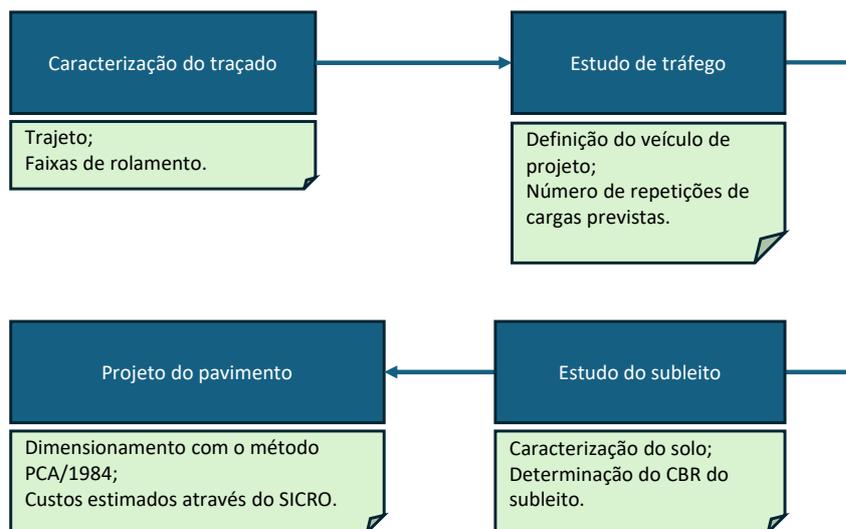
Ao final, o método retorna as análises parciais com as somas de consumo de fadiga e de erosão do revestimento, com base na Lei de Miner de Dano Acumulado. Se esses valores são menores ou iguais a 100%, a espessura do revestimento atende ao dimensionamento planejado para a vida útil. Caso contrário, novos valores de espessura são estimados até que os limites admissíveis sejam alcançados. Busca-se atingir consumos próximos a 100%; valores muito

baixos indicam superdimensionamento da estrutura. O passo a passo para o dimensionamento de pavimentos de concreto rígido do PCA/1984 é detalhado no Anexo A, conforme apresentado em DNIT (2005).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho é constituída em quatro etapas: i) caracterização do traçado do sistema de BRT (*Bus Rapid Transport*) de Maceió, considerando o início e o fim do trajeto, e a largura das faixas de rolamento; ii) estudo de tráfego para a definição do veículo de projeto e do número de repetições de cargas previstas; iii) estudo do subleito, a partir de dados geotécnicos obtidos para o projeto de implantação das vias Laterais da Avenida Durval de Góes Monteiro realizado pela empresa TPF engenharia, para a caracterização e a determinação do Índice de Suporte Califórnia, ou CBR (*California Bearing Ratio*), do solo; e iv) projeto do pavimento dimensionado com o uso do método PCA/1984, com custos estimados a partir da base de dados do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O fluxograma visto na Figura 23 sintetiza a metodologia adotada.

Figura 23 – Resumo da metodologia adotada.



Fonte: Autor (2024).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRAÇADO

De acordo com informações divulgadas pela Prefeitura de Maceió em 2024, o projeto do sistema de BRT de Maceió, ilustrado na Figura 24, inclui um corredor principal, exclusivo para os ônibus do BRT com 14,5 km de extensão em cada sentido, percorrendo as avenidas Lourival Melo Mota, Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima, e 23 estações (Maceió,). O corredor tem início no terminal do bairro Eustáquio Gomes e segue até a praça Centenário, no bairro do Farol. A partir desse ponto, utiliza faixas preferenciais para atender aos bairros do Centro, Ponta

Verde e Trapiche. Além disso, o sistema será alimentado por 63 linhas de ônibus, garantindo cobertura a todos os bairros de Maceió (ALNB, 2024).

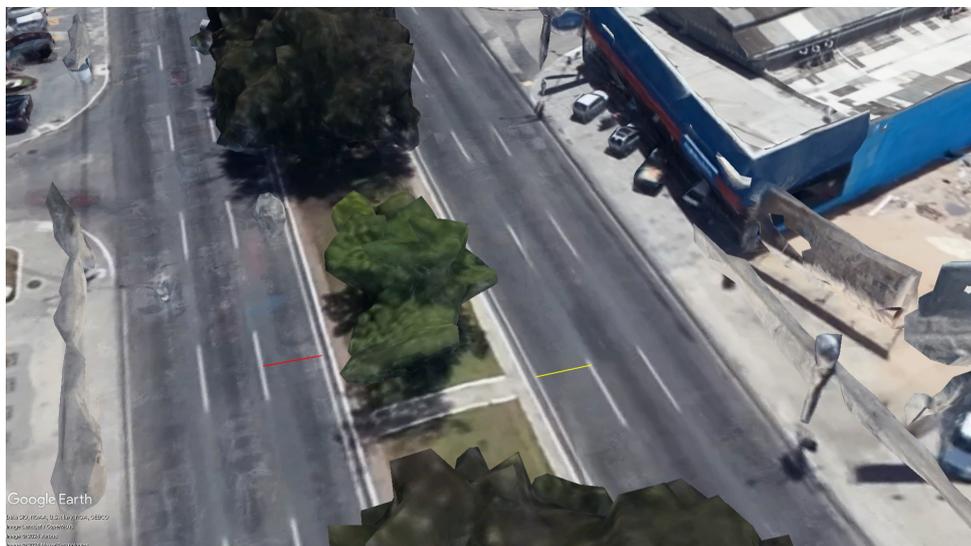
Figura 24 – Traçado do BRT de Maceió.



Fonte: Disponível em: <<https://alnb.com.br/maceio/conheca-o-brt-projeto-de-mobilidade-urbana-apresentado-pela-prefeitura-de-maceio/>>. Acesso em: 30 de nov. de 2024.

Considerando a implantação de um corredor com uma única faixa exclusiva em cada sentido, é possível utilizar o espaço disponível nas faixas esquerdas das avenidas percorridas pelo BRT, representadas na Figura 25. Medições realizadas indicam que essas faixas possuem 3,5 m de largura.

Figura 25 – Larguras das faixas esquerdas da av. Fernandes Lima nos sentidos Centro (linha vermelha) e Esut. Gomes (linha amarela).



Fonte: Google Earth® (2024).

3.2 ESTUDO DE TRÁFEGO

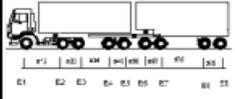
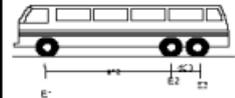
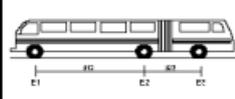
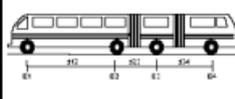
Com base na demanda projetada de 120.000 passageiros por dia para o sistema de BRT de Maceió (Maceió,) e considerando o ônibus articulado como veículo de projeto do corredor principal, com capacidade de 145 passageiros, é possível estimar a quantidade total de passagens dos veículos ao longo do período de projeto (20 anos) pela Equação 4

$$N_{passagens} = \frac{DemandaDiaria}{CapacidadeVeiculo} \cdot 365 \cdot 20. \quad (1)$$

Dessa forma, o total estimado é de 6.041.380 passagens de ônibus articulados durante o período de projeto.

Para caracterizar os veículos adotados no estudo, a Figura 26 apresenta a classificação oficial de veículos conforme DNIT (2006a). Essa classificação inclui a silhueta dos veículos; o Peso Bruto Total (PBT), ou Carga Máxima de Tração (CMT), que representam a carga máxima legal dos veículos; a caracterização dos veículos, como os tipos de eixos e suas respectivas capacidades de carga; e a classe dos veículos, definida pelos códigos específicos.

Figura 26 – Veículos adotados na classificação do DNIT.

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	9	74(77,7)	RODOTREM (caminhão trator trucado + dois semi reboques dom dolly) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6
	2	16(16,8)	ÔNIBUS E1 = ES, RS, CM 6t ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ED, RD, CM 10t d12 ≤ 3,50m	2CB
	3	19,5(20,5)	ÔNIBUS TRUCADO E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t d12 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40m	3CB
	4	25,5(26,8)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais, carga máxima 12 ton E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t 1,20 < d34 ≤ 2,40m	4CB
	3	26(27,3)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t d12, d23 > 2,40m	2SB1
	4	36(37,8)	ÔNIBUS URBANO BI-ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2IB2

Fonte: DNIT (2006a).

Sendo o ônibus articulado da classe 2SB1, ele possui 1 eixo simples (ES) com roda simples (RS), com capacidade de 6 t, e 2 eixos duplos (ED) com roda dupla (RD), com capacidade de 10 t. A carga e o número de passageiros de cada eixo são resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Cargas máximas e número de repetições de cada eixo do veículo de projeto.

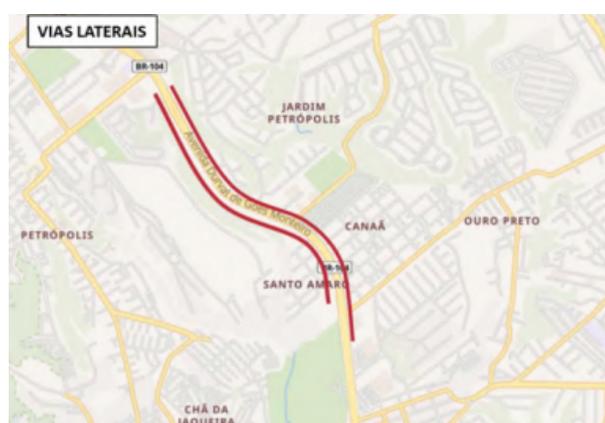
Eixo	Carga Máxima (t)	Nº. de Repetições
ESRS	6	6.041.380
EDRD	10	12.082.760

Fonte: Autor (2024).

3.3 ESTUDO DO SUBLEITO

Para caracterizar o subleito do corredor principal do sistema de BRT de Maceió, utilizam-se os dados do estudo geotécnico para a implantação das vias laterais da av. Durval De Góes Monteiro, vistas na Figura 27, realizado pela empresa TPF Engenharia em 2022. Essas vias conectam ruas e comércios locais à av. Durval de Góes Monteiro nos sentidos Eustáquio Gomes (Norte) e Centro (Sul), totalizando 4,2 km de pistas. Para o desenvolvimento deste trabalho, esses dados são considerados uniformes para toda a extensão do corredor principal.

Figura 27 – Vias laterais da av. Durval de Góes Monteiro.



Fonte: Adaptado de TPF (2022).

No estudo, foram realizados 9 furos de sondagem em cada sentido, com profundidade de 1 m e espaçamento de 200 m (TPF, 2022). As amostras coletadas nas sondagens foram utilizadas para avaliar as condições estruturais e funcionais do subleito por meio dos seguintes ensaios geotécnicos:

- Ensaio de Compactação - NBR 7182/86;
- Índice de Suporte Califórnia - NBR 9895/87;
- Umidade in situ e Umidade Ótima;
- Massa Específica Aparente Seca in situ e Massa Específica Aparente Seca Máxima;
- Análise Granulométrica por Peneiramento Simples – NBR 7181/84;
- Determinação do Limite da Liquidez – NBR 6459/16;
- Determinação do Limite de Plasticidade – NBR 7180/16;

- Proctor Intermediário para alguns furos.

O CBR de projeto, $CBR_{projeto}$, é calculado com base no valor mínimo provável, estatisticamente, conforme disposto em DNIT (2006b) pela Equação 1

$$CBR_{projeto} = \overline{CBR} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma, \quad (2)$$

em que N o número de amostras, \overline{CBR} é a média dos valores, obtida pela Equação 2

$$\overline{CBR} = \frac{\sum CBR_i}{N}, \quad (3)$$

e σ é o desvio padrão da amostra, calculado pela Equação 3

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (CBR_i - \overline{CBR})^2}{N - 1}}. \quad (4)$$

3.4 PROJETO DO PAVIMENTO

Para dimensionar o pavimento do BRT de Maceió, adotou-se o método PCA/1984 devido à sua robustez e aplicabilidade prática. Esse processo foi realizado utilizando o *software* IMEPAV, desenvolvido pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), que implementa esse método. A Figura 28 apresenta a tela inicial do *software*, onde são inseridos os dados do pavimento.

Figura 28 – Tela inicial do *software* IMEPAV.

Em seguida, são inseridos os dados do carregamento de tráfego, em que são considerados o tipo de eixo (eixo simples, tandem duplo e tandem triplo), suas cargas e a contagem de cada um. Após essa etapa, o *software* realiza análises parciais dos consumos por fadiga e erosão do pavimento, para cada eixo e carga, e apresenta a soma desses consumos, que devem permanecer entre 0 e 100%.

Ao final, é realizada a estimativa de custos para a implantação do pavimento em concreto rígido a partir dos materiais e quantitativos definidos neste estudo, com o uso da base de dados de outubro de 2024 da 3ª versão do SICRO (SICRO3) para Alagoas (DNIT, 2024b). Aos custos unitários obtidos, adiciona-se um percentual de 30% referente ao BDI (Benefícios e Despesas Indiretas), sem desoneração fiscal. Os custos de canteiro de obras, sinalização, movimentação de terra e transporte de materiais não são considerados neste trabalho. Para facilitar a realização da estimativa de custos, é utilizado o *software* OrçaFascio®, que auxilia a busca e a organização em planilhas dos insumos e composições orçamentárias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo, são apresentados a concepção estrutural do pavimento de concreto utilizada para a construção do sistema de BRT (*Bus Rapid Transport*) de Maceió; o dimensionamento das placas de concreto do pavimento a fim de atender aos critérios de fadiga e erosão; a quantificação dos materiais necessários para a construção da infraestrutura do pavimento; e a estimativa de custos para a implantação do pavimento com base nos quantitativos calculados.

4.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

A seguir, é realizada a definição das soluções, materiais e espessuras das camadas do pavimento para o BRT de Maceió, além do dimensionamento da espessura das placas de concreto do revestimento.

4.1.1 Subleito

Os resultados dos ensaios realizados pela empresa TPF Engenharia- Índice de Suporte Califórnia, ou CBR (*California Bearing Ratio*), compactação, limites de liquidez e plasticidade, e granulometria- estão resumidos no Anexo B. As sondagens indicam que o solo da região é predominantemente argiloso, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Boletim de sondagem.

Eixo	Estaca	Prof. (m)	Furo	Classificação Expedita
Sul	3 + 0,00	1,00	01	Argila Arenosa Marrom
	14 + 0,00	1,00	02	Argila Areno-Siltosa Marrom
	26 + 10,00	1,00	03	Argila Arenosa Marrom
	38 + 0,00	1,00	04	Argila Arenosa Marrom Escuro
	50 + 0,00	1,00	05	Argila Areno-Siltosa Marrom Claro
	61 + 0,00	1,00	06	Argila Arenosa Marrom Escuro com Pedregulho
	72 + 5,00	1,00	07	Argila Arenosa Marrom Claro
	84 + 0,00	1,00	08	Argila Arenosa Marrom Escuro
	94 + 10,00	1,00	09	Argila Arenosa Marrom Claro
Norte	5 + 0,00	1,00	10	Argila Arenosa Marrom Escuro
	15 + 10,00	1,00	11	Argila Arenosa Marrom Claro
	28 + 0,00	1,00	12	Argila Arenosa Marrom Escuro
	39 + 5,00	1,00	13	Argila Arenosa Marrom Escuro
	50 + 0,00	1,00	14	Argila Arenosa Marrom Claro
	61 + 0,00	1,00	15	Argila Arenosa Marrom Claro
	73 + 10,00	1,00	16	Argila Arenosa Marrom Escuro
	85 + 5,00	1,00	17	Argila Arenosa Marrom Claro
	95 + 10,00	1,00	18	Argila Arenosa Marrom Escuro

Fonte: TPF (2022).

Os valores do $CBR_{projeto}$ para os sentidos Norte e Sul, calculados a partir dos ensaios do Índice de Suporte Califórnia realizados com o método de Proctor Normal, são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – CBRs de projeto.

	Sentido	
	Norte	Sul
N	9	9
$\overline{CBR}(\%)$	8,3	8,6
$\sigma(\%)$	1,5	2,1
$CBR_{projeto}(\%)$	6,6	6,2

Fonte: Autor (2024).

Observando que o subleito da região apresenta baixa resistência ($CBR = 6\%$) e alto índice de finos (solo argiloso), a empresa optou por reforçar o subleito com uma mistura contendo 5% de cal. Essa solução visa reduzir o risco de bombeamento de finos para as camadas superiores, uma vez que a cal é eficiente no preenchimento de vazios com menor volume em comparação ao cimento (TPF, 2022).

Neste trabalho, são adotados um CBR de projeto de 6% e uma camada de reforço do subleito com 15 cm de espessura, composta por solo de jazida misturado com 5% de cal.

4.1.2 Sub-base

Para a execução da camada de sub-base, é proposta uma espessura de 15 cm de brita graduada produzida tratada com cimento, como recomenda DNIT (2005) para projetos com tráfego pesado. A escolha desse material considera sua ampla disponibilidade na região, o que facilita a logística de transporte e abastecimento para a obra.

4.1.3 Revestimento

Além das informações sobre o tráfego, subleito e sub-base vistas anteriormente, o dimensionamento do pavimento projetado neste trabalho considera que o revestimento possui juntas com de barras de transferência entre suas placas, mas sem acostamento em concreto. Considera-se ainda um FSC (Fator de Segurança para as Cargas) de 1,2, devido ao alto volume de tráfego de veículos pesados, e concreto com resistência à tração na flexão de 4,5 MPa. O Quadro 4 resume os parâmetros utilizados no dimensionamento.

Quadro 4 – Parâmetros utilizados no dimensionamento.

Dados do Pavimento		
Período do Projeto	20 anos	
CBR	6%	
Tipo de Sub-Base	Granular	
Espessura da Sub-Base	15 cm	
Acostamento de Concreto	Não	
Juntas com Barras de Transferência	Sim	
Fator de Segurança	1,2	
Resistência de Tração na Flexão	4,5 MPa	
Dados do Carregamento		
Tipo de Eixo	Carga por Eixo (t)	Número de Repetições Previstas
Eixo Simples	6	6.041.380
	10	12.082.760

Fonte: Autor (2024).

Aplicando esses parâmetros ao *software* IMEPAV e testando as espessuras de 23, 24 e 25 cm para o revestimento de concreto, chega-se aos resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do dimensionamento do revestimento de concreto do pavimento.

Espessura do Revestimento (cm)	Consumo por Fadiga (%)	Consumo por Erosão (%)	Status
23	223,8	102,4	Subdimensionado
24	0,0	56,5	Ok!
25	0,0	31,9	Superdimensionado

Fonte: Autor (2024).

A análise dos resultados indica que o aumento da espessura do revestimento de 23 para 24 cm reduz o consumo por fadiga a 0% e diminui o consumo por erosão em aproximadamente de 50%, o que viabiliza a execução do revestimento. Isso ocorre porque uma maior espessura reduz as tensões equivalentes, o que diminui os fatores de fadiga e erosão. Contudo, em um revestimento de 25 cm, a redução do consumo por erosão não é tão significativa, o que representa uma não linearidade entre a espessura do revestimento e o fator de fadiga.

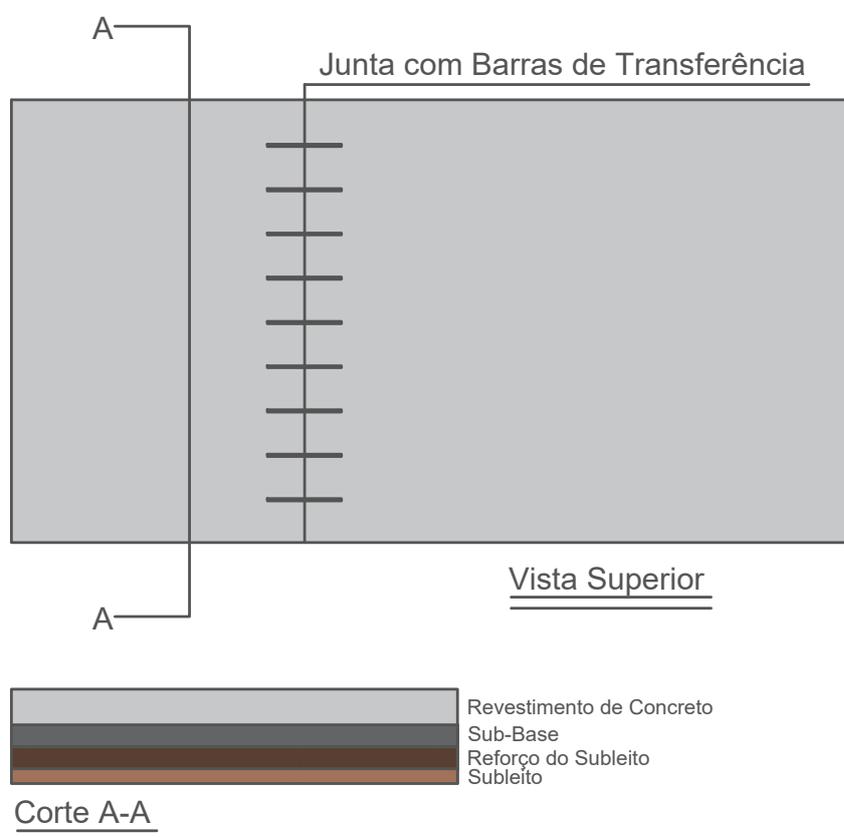
Por fim, a Tabela 4 resume a composição da estrutura do pavimento, que é ilustrado na Figura 29.

Tabela 4 – Resumo das camadas do pavimento.

Camada	Material	Espessura (cm)
Subleito	Solo Natural	-
Reforço do Subleito	Solo de Jazida Misturado com 5% de Cal	15
Sub-Base	Brita Graduada Tratada com Cimento	15
Revestimento	Concreto	24

Fonte: Autor (2024).

Figura 29 – Estrutura do pavimento projetado.



Fonte: Autor (2024).

4.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO PAVIMENTO

Em seguida, são quantificados os materiais e calculados os custos para a implantação do pavimento rígido do sistema de BRT de Maceió.

4.2.1 Quantitativos de Materiais

Com base nas considerações e medidas previamente definidas, é possível calcular a área superficial do pavimento projetado, A_s , com a Equação 5

$$A_s = L_s \cdot B_{pav}. \quad (5)$$

Em que L_s é o comprimento total da estrutura, ou seja, a soma dos comprimentos dos dois sentidos do corredor principal do sistema de BRT de Maceió (29 km), e B_{pav} , a largura de suas faixas (3,5 m).

A partir de A_s e das espessuras das camadas do pavimento projetado, e_{cam} , o volume de materiais, V_m , de cada camada pode ser calculado conforme a Equação 6

$$V_m = A_s \cdot e_{cam}. \quad (6)$$

A Tabela 5 apresenta os componentes e os quantitativos de área e volume necessários para o orçamento da implantação do pavimento rígido do sistema de BRT. Dentre as camadas executadas, nota-se que o revestimento necessita maiores volumes de material.

Tabela 5 – Quantitativos de materiais utilizados na implantação do pavimento rígido.

Camada	Material	Espessura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
Subleito	Solo Natural	-	101.500	-
Reforço do Subleito	Solo de Jazida Misturado com 5% de Cal	0,15	101.500	15.225
Sub-Base	Brita Graduada Tratada com Cimento	0,15	101.500	15.225
Revestimento	Concreto	0,24	101.500	24.360

Fonte: Autor (2024).

4.2.2 Cálculo dos custos

Os cálculos para a implantação do pavimento rígido são realizados a partir da base de dados de outubro de 2024 da 3ª versão do SICRO (Sistema de Custos Referenciais de Obras) para Alagoas, com um acréscimo de 30%, referente aos BDI (Benefícios e Despesas Indiretas), sobre os valores unitários das composições. As composições apresentadas são feitas conforme o disposto no "Caderno Técnico" do SICRO (DNIT, 2024a). Ocasionalmente, necessitou-se adaptar a composição: "Reforço de subleito de solo melhorado com 4% de cal e mistura na pista com material de jazida" para receber 5% de cal na mistura, de acordo com as especificações de serviço:

- DNIT ES 138/2010: Pavimentação - Reforço do subleito (DNIT, 2010);
- DNIT ES 422/2019: Pavimentação - Solo-cal - Adição de cal para melhoria de subleito (DNIT, 2019).

O Quadro 5 apresenta as composições, quantidades e custos estimados de cada item deste estudo. Os detalhes das composições destes itens são vistos no Anexo C.

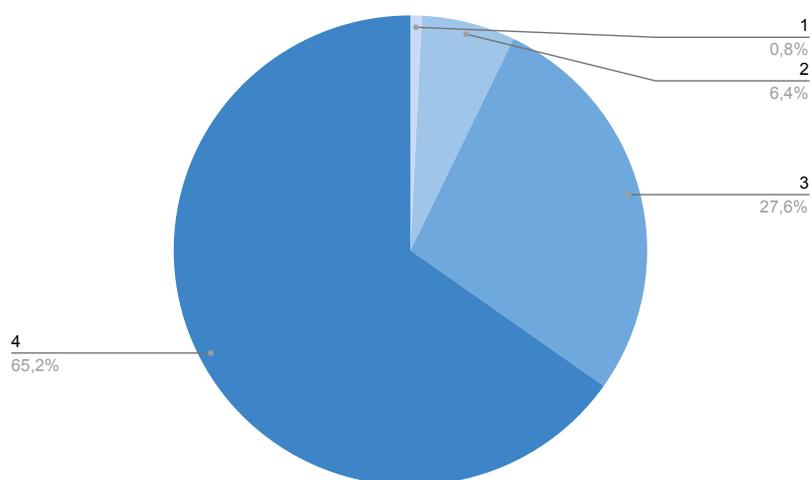
Quadro 5 – Resumo das composições utilizadas para a análise de custos para a implantação do pavimento rígido.

Item	Descrição	Base	Und.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor Unit. com BDI (R\$)	Total (R\$)
1	Regularização do subleito com fresagem corte e controle automático de greide	SICRO3	m ²	101.500	1,23	1,59	161.385,00
2	Reforço do subleito de solo melhorado com 5% de cal e mistura na pista com material de jazida	Adaptado de SICRO3	m ³	15.225	66,90	86,97	1.324.118,25
3	Base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento com brita comercial	SICRO3	m ³	15.225	288,94	375,62	5.718.814,50
4	Pavimento de concreto com fôrmas deslizantes - areia e brita comerciais	SICRO3	m ³	24.360	426,38	554,29	13.502.504,40
Total sem BDI							R\$ 15.929.125,80
Total do BDI							R\$ 4.777.696,35
Total							R\$ 20.706.822,15

Fonte: Autor (2024).

O custo total estimado para a implantação do pavimento rígido é de R\$ 20.706.822,15. Dentre os itens orçados, destaca-se o Item 4, "Pavimento de concreto com fôrmas deslizantes - areia e brita comerciais", que representa 65,2% do custo total, como mostra o gráfico da Figura 30. Esse percentual elevado deve-se ao grande volume associado e ao maior custo unitário desse item.

Figura 30 – Gráfico de setores com a distribuição percentual dos custos de cada item para a implantação do pavimento.



Fonte: Autor (2024).

5 CONCLUSÃO

A estrutura do pavimento rígido para o sistema de BRT (*Bus Rapid Transport*) de Maceió, possui um comprimento total de 29 km de faixas exclusivas para ônibus, com 3,5 m de largura. Devido à baixa qualidade do subleito, é necessária a adoção de uma camada de reforço com espessura de 15 cm, composta por uma mistura de solo de jazida e 5% de cal. A camada de sub-base também possui 15 cm de espessura e é feita com brita graduada tratada com cimento. As placas do revestimento de concreto são dimensionadas com 24 cm, para atender aos critérios de fadiga e erosão.

O custo estimado para a implantação do pavimento é de R\$ 20.706.822,15, incluindo 30% de BDI (Benefícios e Despesas Indiretas). A camada de revestimento de concreto corresponde a 65,2% do custo total, devido ao elevado custo unitário e à maior quantidade de material requerida.

A estrutura proposta não apenas atende às demandas de tráfego intenso, mas também assegura durabilidade e eficiência operacional ao sistema de BRT de Maceió. Além disso, o detalhamento dos custos e a composição das camadas fornecem subsídios valiosos para futuras intervenções e planejamentos de infraestrutura urbana, contribuindo para a melhoria do transporte público e da mobilidade urbana em Maceió.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a análise da viabilidade do uso de pavimento de concreto Whitetopping para a execução das obras do sistema de BRT de Maceió, pois esse tipo de pavimento consiste na aplicação de uma camada de concreto sobre um pavimento asfáltico existente. Essa abordagem pode reduzir custos e tempo de execução ao aproveitar a estrutura já implantada, minimizando a necessidade de remoção do pavimento antigo e reduzindo os impactos ambientais da obra. A viabilidade técnica e econômica dessa solução, especialmente em corredores de ônibus como o BRT de Maceió, pode representar uma estratégia promissora para reabilitação e melhoria do desempenho estrutural do pavimento.

REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. de N. T. **NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013. Norma brasileira.
- ALNB. **Conheça o BRT: Projeto de Mobilidade Urbana Apresentado pela Prefeitura de Maceió**. 2024. Acessado em: 10 de dez. de 2024. Disponível em: <<https://alnb.com.br/maceio/conheca-o-brt-projeto-de-mobilidade-urbana-apresentado-pela-prefeitura-de-maceio/>>.
- BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G. d.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2008.
- BOLINA, F.; TUTIKIAN, B. Análise da origem das manifestações patológicas em pavimento de concreto de uma rodovia pelo método dos elementos finitos: estudo de caso. **Revista ALCONPAT**, v. 4, n. 3, p. 172–181, 2014.
- BRANCO, S. P. V. M. **Estudo e aplicação de sistemas BRT-Bus Rapid Transit**. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Porto (Portugal), 2013.
- CAVALCANTE, F. M. R. Trabalho de Conclusão de Curso, **Análise comparativa da implantação de um sistema VLT x BRT em trecho da cidade de Maceió**. Maceió: [s.n.], 2024.
- DNIT. **MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**. Rio de Janeiro, 2005.
- DNIT. **MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO**. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO**. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. **DNIT ES 138/2010: Pavimentação - Reforço do subleito**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010. Especificação de Serviço.
- DNIT. **DNIT ES 422/2019: Pavimentação - Solo-cal - Adição de cal para melhoria de subleito**. Brasília, DF, Brasil, 2019. Especificação de Serviço.
- DNIT. **Caderno Técnico - Pavimentação**. Brasília, Brasil, 2024. Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO.
- DNIT. **Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO 3**. 2024.
- GOMES, T. **Maceió vai ganhar corredor de ônibus BRT para atender 600 mil usuários**. 2022. Acesso em: 11 de nov. de 2024. Disponível em: <<https://maceio.al.gov.br/noticias/dmtt/maceio-vai-ganhar-corredor-de-onibus-brt-para-atender-600-mil-usuarios>>.
- HICKMAN, R.; FRAMER, P.; BREITHAUPT, M.; SAXENA, S. **Changing course in sustainable urban transport: an illustrated guide**. [S.l.]: Asian Development Bank, 2011.
- INITIATIVE, G. D. C.; OFFICIALS, N. A. of C. T. **Global street design guide**. [S.l.]: Island Press, 2016.
- ITDP Brasil. **Elementos Básicos do BRT**. ITDP Brasil, 2015. Documento PDF. Versão WEB em português. Acesso em: 11 de nov. de 2024. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2015/03/ITDP-Brasil_Informativo-Elementos-B%C3%A1sicos-do-BRT-em-PT_vers%C3%A3o-WEB.pdf>.

- LEME, F. N. D. P. **Dimensionamento Pavimento de Concreto- Método PCA/84**. 2021. Material de aula, Webinar ABCP online.
- LERNER, J. Avaliação comparativa das modalidades de transporte público urbano. **NTU, Associação Nacional das Empresas de transporte Urbano, Jaime Lerner Associados**, 2009.
- MACEIÓ, P. de. **LANÇAMENTO DO BRT MACEIÓ - 05/07/2024 - AO VIVO**. Youtube, 05 de jul. de 2024. Duração: 1h11min20s. Acesso em: 12 de dez. de 2024. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VojXKrKPRuU>>.
- MEDINA, J. de; MOTTA, L. M. G. da. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2015.
- MINISTÉRIO Público realiza audiência pública sobre implantação do sistema BRT em Maceió. 2024. Acesso em: 11 de nov. de 2024. Disponível em: <<https://www.mpal.mp.br/?p=42418>>.
- MOURA, E. de. **PROJETO DE PAVIMENTO- Definições de pavimento e Classificação de Veículos**. 2024. Material de aula, Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC).
- NTU. **Os grandes números da mobilidade urbana: cenário nacional**. Brasília, 2021.
- PICKETT, G.; RAY, G. K. Influence charts for concrete pavements. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, American Society of Civil Engineers, v. 116, n. 1, p. 49–73, 1951.
- SILVA, L. S.; NOGUEIRA, M. H. P.; LIMA, G. K. M.; BATISTA, N. J. da S.; NASCIMENTO, F. R. Análise comparativa entre as técnicas construtivas de pavimentação empregadas no sistema bus rapid transit (brt)-belém-pa versus fortaleza-ce. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 6, 2018.
- TPF. Projeto executivo de implantação das vias laterais da av. durval de góes monteiro, maceió/al- trecho entre a av. galba novaes de castro e o parque do horto. Memória Justificativa. 2022.
- WESTERGAARD, H. M. Computation of stresses in concrete roads. In: **Proceedings, Highway Research Board**. [S.l.: s.n.], 1925. v. 5, n. Part 1, p. 90–112.
- WRIGHT, L.; HOOK, W. Manual de brt–bus rapid transit–guia de planejamento. **ITDP/Ministério das Cidades, Brasília**, 2008.

ANEXO A – Dimensionamento de pavimentos de concreto rígido com o Método PCA/1984

A seguir, são apresentadas as etapas para o dimensionamento de pavimentos de concreto rígido com o Método PCA/1984, de acordo com o Manual de Pavimentos Rígidos (DNIT, 2005):

1º Definição dos parâmetros de dimensionamento:

- tipo de acostamento e adoção ou não de barras de transferência;
- resistência à tração na flexão do concreto aos 28 dias;
- coeficiente de recalque do sub-leito de acordo com a Figura 22;
- Fator de Segurança para as Cargas (FSC), conforme o Quadro 1;
- tráfego esperado para cada nível de carga e de acordo com a vida de projeto do pavimento.

2º Adoção de uma espessura tentativa de concreto;

3º Determinar a Tensão Equivalente nos Quadros 6 e 7, ou 8 e 9, dependendo se o pavimento terá ou não acostamento de concreto, para eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, com:

- a espessura estimada da placa, H;
- o coeficiente de recalque do sistema, K. Para tanto, podem ser utilizados os gráficos das Figuras 22, 31, 32, 33 e 34.

4º Determinam-se nos Quadros 10 e 11, 12 e 13, 14 e 15 ou 16 e 17 os Fatores de Erosão, de acordo com o tipo de junta considerada e o tipo de acostamento, a partir da H e K do sistema, para eixos simples, tandem duplos e tandem triplos;

5º Calculam-se os Fatores de Fadiga para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, dividindo as Tensões Equivalentes pela resistência a flexão do concreto aos 28 dias;

6º Com o Fator de Fadiga e as cargas por eixos simples e tandem duplos, determinam-se as Repetições Admissíveis pela Figura 35 (Análise por Fadiga).

Os eixos tandem triplos são considerados para a de terminação das Repetições Admissíveis como 3 eixos simples, cada um com um terço da carga total. Esta é uma simplificação que apenas facilita o calculo; deve ser levado em conta, entretanto, que as Tensões Equivalentes

que aparecem nos Quadros, correspondem a ação do conjunto formado originalmente pelos 3 eixos, ou seja, pelo próprio eixo tandem triplo;

- 7º Com o Fator de Erosão e as cargas por eixo simples e tandem duplos, determinam-se as Repetições Admissíveis no ábaco da Figura 36 (para o caso de um pavimento sem acostamento de concreto) ou no ábaco da Figura 37 (para o caso de um pavimento com acostamento de concreto).

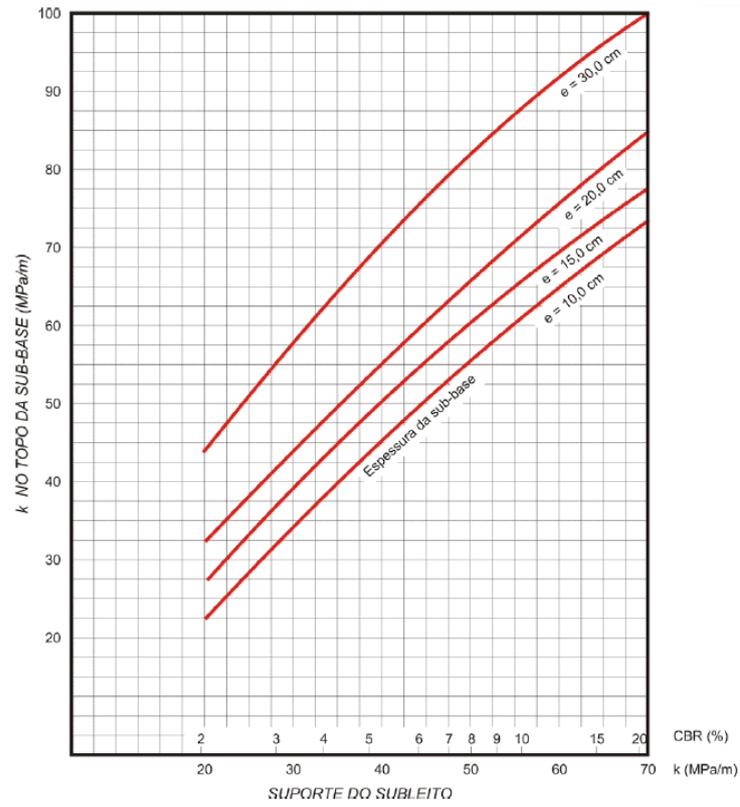
Semelhante ao item anterior, para os casos de eixos tandem triplos, são considerados, na determinação das Repetições Admissíveis, como sendo 3 eixos simples, cada um com um terço da carga total;

- 8º Dividem-se as repetições esperadas pelas respectivas repetições admissíveis, para cada classe de carga e tipo de eixo, determinadas tanto na Análise por Fadiga como na Análise por Erosão, determinando-se as porcentagens de resistência à fadiga consumida e o dano por erosão;

- 9º Soma-se as porcentagens de fadiga e as de erosão para verificar se a espessura estimada cumpre os requisitos solicitados, isto é, nenhuma destas somas, ultrapassa 100 %. Caso a espessura tentada seja insuficiente, deve-se repetir o cálculo com uma espessura maior.

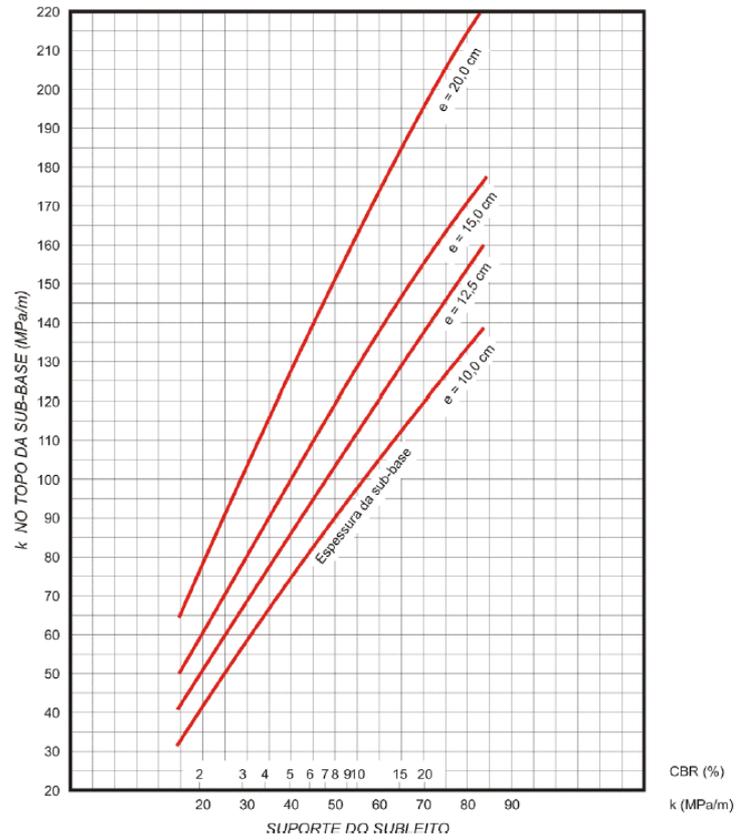
Se a porcentagem de resistência à fadiga consumida ou a porcentagem de dano por erosão ficarem próximas de zero, as condições estão satisfeitas, mas a placa estará superdimensionada. Deve-se, portanto, diminuir a espessura do pavimento, para obter porcentagens mais próximas de 100 %.

Figura 31 – Aumento de k devido à presença de sub-base granular.



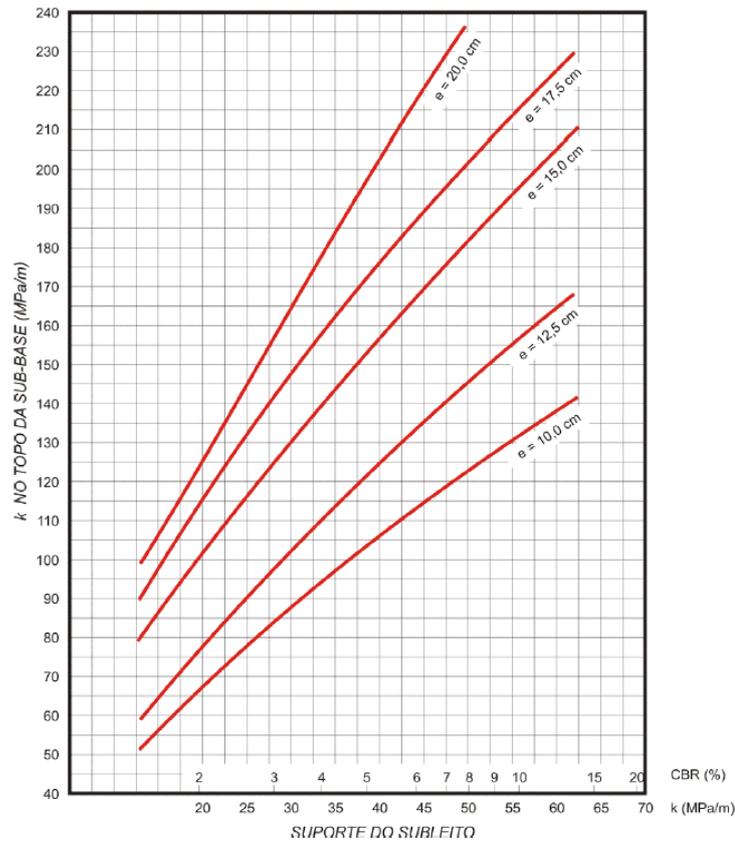
Fonte: DNIT (2005).

Figura 32 – Aumento de k devido à presença de sub-base de brita tratada com cimento.



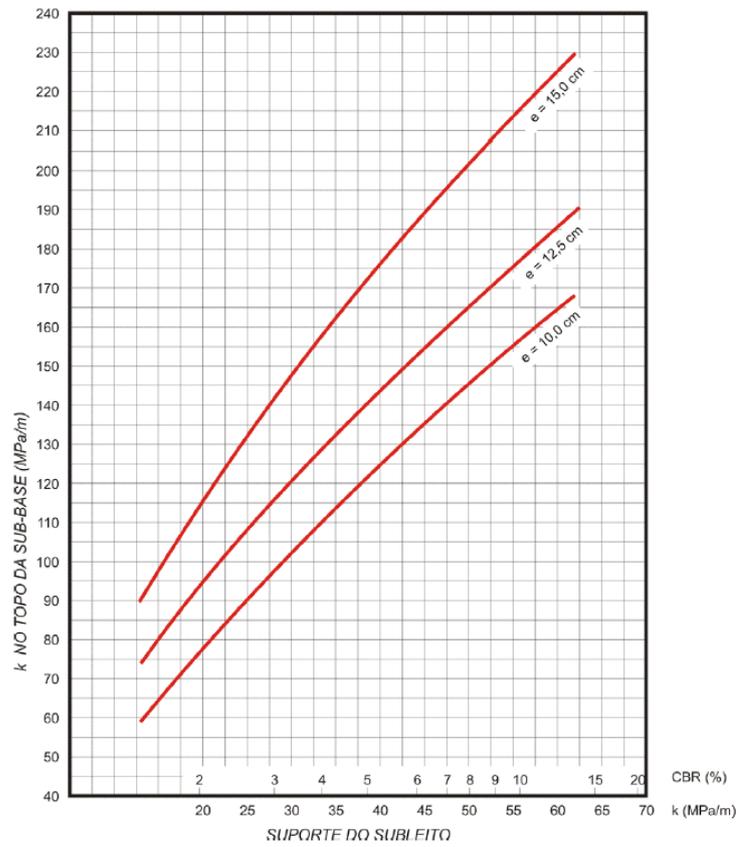
Fonte: DNIT (2005).

Figura 33 – Aumento de k devido à presença de sub-base de solo-cimento.



Fonte: DNIT (2005).

Figura 34 – Aumento de k devido à presença de sub-base de concreto rolado.



Fonte: DNIT (2005).

Quadro 6 – Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplos para pavimentos sem acostamento de concreto.

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			180		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	2,68	3,31	2,68	3,17	2,57	2,91	2,43	2,74	2,35	2,35	2,46	2,08			
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,40	2,97	2,40	2,84	2,30	2,61	2,16	2,46	2,08	1,85	2,23	1,85			
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,16	2,68	2,16	2,56	2,08	2,37	1,94	2,23	1,85	1,67	2,04	1,67			
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	1,97	2,44	1,97	2,33	1,88	2,16	1,75	2,04	1,67	1,52	1,87	1,52			
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	1,81	2,23	1,81	2,13	1,73	1,97	1,60	1,87	1,52	1,39	1,72	1,39			
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	1,67	2,05	1,67	1,96	1,60	1,81	1,47	1,72	1,39	1,28	1,59	1,28			
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,55	1,89	1,55	1,81	1,48	1,68	1,36	1,59	1,28	1,19	1,48	1,19			
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,45	1,75	1,45	1,68	1,38	1,56	1,26	1,48	1,19	1,11	1,38	1,11			
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,36	1,64	1,36	1,56	1,29	1,45	1,18	1,38	1,11	1,04	1,28	1,04			
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,38	1,29	1,52	1,29	1,46	1,22	1,36	1,11	1,28	1,04	0,98	1,20	0,98			
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,22	1,42	1,22	1,37	1,15	1,28	1,05	1,20	0,92	0,92	1,13	0,92			
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,15	1,33	1,15	1,28	1,09	1,20	0,99	1,13	0,92	0,88	1,07	0,88			
24	1,62	1,59	1,43	1,31	1,33	1,18	1,10	1,25	1,10	1,21	1,04	1,13	0,94	1,07	0,88	0,83	1,01	0,83			
25	1,53	1,52	1,35	1,25	1,26	1,12	1,05	1,19	1,05	1,14	0,99	1,07	0,89	1,01	0,83	0,80	0,95	0,80			
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,00	1,13	1,00	1,08	0,94	1,01	0,85	0,95	0,76	0,73	0,86	0,73			
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	0,95	1,07	0,95	1,03	0,90	0,95	0,81	0,90	0,76	0,69	0,82	0,69			
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	0,91	1,02	0,91	0,98	0,86	0,90	0,78	0,86	0,66	0,66	0,78	0,66			
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,88	0,97	0,88	0,93	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69	0,64	0,74	0,64			
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,85	0,92	0,85	0,89	0,80	0,82	0,72	0,78	0,66	0,62	0,71	0,62			
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,81	0,88	0,81	0,84	0,77	0,78	0,69	0,74	0,64	0,60	0,68	0,60			
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,78	0,84	0,78	0,80	0,74	0,75	0,67	0,71	0,62	0,58	0,66	0,58			
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,80	0,80	0,76	0,77	0,71	0,72	0,64	0,68	0,60	0,58	0,66	0,58			
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,73	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62	0,66	0,58	0,58	0,66	0,58			

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 7 – Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos para pavimentos sem acostamento de concreto.

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

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 8 – Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplos para pavimentos com acostamento de concreto.

Espessura da placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			180		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	3,36	2,82	2,95	2,46	2,74	2,31	2,60	2,22	2,49	2,16	2,31	2,08	2,19	2,04							
13	3,02	2,56	2,66	2,22	2,47	2,08	2,34	1,99	2,25	1,94	2,09	1,86	1,99	1,81							
14	2,74	2,34	2,41	2,02	2,24	1,89	2,13	1,80	2,05	1,75	1,91	1,67	1,82	1,62							
15	2,50	2,15	2,20	1,85	2,05	1,72	1,95	1,64	1,88	1,59	1,75	1,51	1,67	1,46							
16	2,29	1,99	2,02	1,71	1,88	1,58	1,80	1,51	1,73	1,46	1,61	1,38	1,55	1,33							
17	2,11	1,85	1,86	1,58	1,74	1,46	1,66	1,39	1,60	1,34	1,49	1,26	1,43	1,21							
18	1,96	1,72	1,73	1,47	1,61	1,35	1,54	1,29	1,48	1,24	1,39	1,16	1,33	1,12							
19	1,82	1,62	1,61	1,38	1,50	1,27	1,43	1,20	1,38	1,16	1,29	1,08	1,24	1,04							
20	1,70	1,52	1,50	1,29	1,40	1,19	1,34	1,13	1,29	1,08	1,21	1,01	1,16	0,97							
21	1,59	1,44	1,40	1,22	1,31	1,12	1,26	1,06	1,21	1,02	1,13	0,95	1,09	0,91							
22	1,49	1,36	1,32	1,15	1,23	1,06	1,18	1,00	1,14	0,96	1,07	0,89	1,02	0,86							
23	1,40	1,29	1,24	1,09	1,16	1,00	1,11	0,95	1,07	0,91	1,01	0,84	0,97	0,81							
24	1,32	1,23	1,17	1,04	1,10	0,95	1,05	0,90	1,01	0,86	0,95	0,80	0,91	0,76							
25	1,25	1,18	1,11	0,99	1,04	0,91	0,99	0,85	0,96	0,82	0,90	0,76	0,87	0,73							
26	1,19	1,12	1,05	0,95	0,98	0,87	0,94	0,81	0,91	0,78	0,86	0,72	0,82	0,69							
27	1,13	1,08	1,00	0,91	0,93	0,83	0,89	0,78	0,86	0,84	0,81	0,69	0,78	0,66							
28	1,07	1,03	0,95	0,87	0,89	0,79	0,85	0,74	0,82	0,71	0,78	0,66	0,75	0,63							
29	1,02	0,99	0,91	0,84	0,85	0,76	0,81	0,71	0,78	0,68	0,74	0,63	0,71	0,60							
30	0,98	0,95	0,87	0,81	0,81	0,73	0,77	0,69	0,75	0,66	0,71	0,61	0,68	0,58							
31	0,93	0,92	0,83	0,78	0,77	0,71	0,74	0,66	0,72	0,63	0,68	0,58	0,65	0,55							
32	0,90	0,89	0,79	0,75	0,74	68,00	0,71	0,64	0,69	0,61	0,65	0,56	0,62	0,53							
33	0,86	0,86	0,76	0,92	0,71	0,66	0,68	0,61	0,66	0,59	0,62	0,54	0,60	0,51							
34	0,83	0,83	0,73	0,70	0,69	0,63	0,66	0,59	0,63	0,57	0,60	0,52	0,57	0,49							

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 9 – Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos para pavimentos com acostamento de concreto.

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

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 10 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos sem acostamento de concreto.

Espessura da placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			200		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	2,72	3,82	3,69	3,74	3,67	3,69	3,65	3,67	3,64	3,65	3,63	3,65	3,63	3,63	3,61	3,59	3,58				
13	3,62	3,75	3,59	3,66	3,57	3,61	3,55	3,59	3,54	3,57	3,52	3,57	3,52	3,52	3,52	3,49	3,49				
14	3,53	3,68	3,50	3,59	3,48	3,53	3,46	3,51	3,45	3,49	3,43	3,49	3,43	3,44	3,40	3,41					
15	3,45	3,61	3,41	3,52	3,39	3,46	3,37	3,44	3,36	3,42	3,34	3,42	3,34	3,37	3,31	3,34					
16	3,37	3,55	3,33	3,46	3,31	3,40	3,29	3,37	3,28	3,35	3,26	3,35	3,26	3,30	3,23	3,26					
17	3,30	3,50	3,26	3,40	3,23	3,34	3,21	3,31	3,20	3,29	3,18	3,29	3,18	3,23	3,16	3,20					
18	3,23	3,44	3,18	3,34	3,16	3,28	3,14	3,25	3,13	3,23	3,11	3,23	3,11	3,17	3,09	3,13					
19	3,17	3,39	3,12	3,29	3,09	3,23	3,07	3,19	3,06	3,17	3,04	3,17	3,04	3,11	3,02	3,07					
20	3,11	3,35	3,05	3,24	3,03	3,17	3,01	3,14	3,00	3,12	2,98	3,12	2,98	3,05	2,96	3,02					
21	3,05	3,30	2,99	3,19	2,97	3,13	2,95	3,09	2,94	3,07	2,92	3,07	2,92	3,00	2,90	2,96					
22	3,00	3,26	2,94	3,15	2,91	3,08	2,89	3,04	2,88	3,02	2,86	3,02	2,86	2,85	2,84	2,91					
23	2,94	3,22	2,88	3,11	2,85	3,03	2,83	2,99	2,82	2,97	2,80	2,97	2,80	2,90	2,78	2,86					
24	2,90	3,18	2,84	3,07	2,80	2,99	2,78	2,95	2,77	2,93	2,75	2,93	2,75	2,86	2,73	2,82					
25	2,86	3,14	2,78	3,03	2,76	2,96	2,73	2,91	2,72	2,89	2,70	2,89	2,70	2,82	2,68	2,78					
26	2,81	3,11	2,75	2,99	2,71	2,92	2,69	2,88	2,68	2,86	2,65	2,86	2,65	2,71	2,63	2,74					
27	2,77	3,08	2,70	2,96	2,67	2,89	2,64	2,84	2,63	2,82	2,61	2,82	2,61	2,75	2,59	2,71					
28	2,73	3,05	2,66	2,93	2,62	2,85	2,60	2,81	2,59	2,79	2,56	2,79	2,56	2,71	2,54	2,67					
29	2,70	3,02	2,62	2,90	2,58	2,82	2,56	2,78	2,55	2,75	2,52	2,75	2,52	2,68	2,50	2,64					
30	2,66	2,99	2,59	2,86	2,54	2,79	2,51	2,75	2,50	2,72	2,48	2,72	2,48	2,64	2,46	2,60					
31	2,63	2,96	2,55	2,83	2,50	2,76	2,48	2,72	2,47	2,69	2,44	2,69	2,44	2,61	2,42	2,57					
32	2,59	2,93	2,51	2,81	2,47	2,73	2,44	2,69	2,43	2,66	2,40	2,66	2,40	2,58	2,38	2,54					
33	2,56	2,90	2,48	2,78	2,43	2,70	2,40	2,66	2,39	2,63	2,36	2,63	2,36	2,55	2,34	2,51					
34	2,53	2,88	2,45	2,75	2,40	2,67	2,37	2,63	2,36	2,60	2,32	2,60	2,32	2,52	2,30	2,48					

ES: Eixos Simples
ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 11 – Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos sem acostamento de concreto.

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

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 12 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos com acostamento de concreto.

Espessura da placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			200		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	3,25	3,29	3,20	3,19	3,18	3,13	3,17	3,11	3,16	3,09	3,13	3,09	3,13	3,09	3,13	3,04	3,11	3,03			
13	3,16	3,23	3,11	3,12	3,09	3,06	3,08	3,04	3,06	3,02	3,06	3,02	3,03	3,02	3,03	2,97	3,01	2,95			
14	3,08	3,17	3,03	3,06	3,00	2,99	2,99	2,97	2,98	2,95	2,99	2,95	2,95	2,95	2,95	2,90	2,93	2,87			
15	3,00	3,11	2,95	3,00	2,92	2,93	2,91	2,91	2,90	2,88	2,91	2,88	2,87	2,88	2,87	2,83	2,85	2,80			
16	2,93	3,06	2,88	2,94	2,85	2,88	2,84	2,85	2,82	2,82	2,84	2,82	2,82	2,82	2,79	2,77	2,74				
17	2,87	3,01	2,81	2,89	2,78	2,82	2,77	2,79	2,75	2,77	2,77	2,75	2,72	2,77	2,71	2,70	2,68				
18	2,80	2,97	2,74	2,84	2,71	2,77	2,70	2,74	2,69	2,71	2,69	2,71	2,66	2,71	2,66	2,65	2,62				
19	2,74	2,92	2,68	2,80	2,65	2,72	2,64	2,69	2,62	2,66	2,62	2,66	2,59	2,60	2,57	2,57	2,57				
20	2,69	2,88	2,62	2,76	2,59	2,68	2,58	2,64	2,56	2,62	2,56	2,62	2,53	2,55	2,55	2,51	2,51				
21	2,63	2,84	2,57	2,71	2,53	2,64	2,52	2,60	2,51	2,57	2,51	2,57	2,48	2,50	2,46	2,46	2,47				
22	2,58	2,80	2,51	2,68	2,48	2,59	2,47	2,56	2,45	2,53	2,45	2,53	2,42	2,46	2,40	2,40	2,42				
23	2,53	2,77	2,46	2,64	2,43	2,55	2,42	2,51	2,40	2,48	2,40	2,48	2,37	2,41	2,35	2,37	2,37				
24	2,48	2,74	2,42	2,60	2,38	2,52	2,37	2,48	2,36	2,45	2,36	2,45	2,33	2,31	2,31	2,31	2,33				
25	2,44	2,71	2,37	2,57	2,34	2,49	2,33	2,45	2,31	2,42	2,31	2,42	2,28	2,34	2,26	2,26	2,29				
26	2,40	2,68	2,33	2,54	2,30	2,46	2,28	2,41	2,27	2,38	2,24	2,38	2,24	2,31	2,22	2,22	2,25				
27	2,36	2,65	2,29	2,51	2,26	2,43	2,24	2,38	2,22	2,35	2,22	2,35	2,20	2,27	2,17	2,17	2,21				
28	2,33	2,62	2,25	2,49	2,22	2,40	2,20	2,35	2,18	2,32	2,18	2,32	2,16	2,24	2,13	2,13	2,18				
29	2,29	2,60	2,22	2,46	2,18	2,37	2,16	2,33	2,14	2,30	2,14	2,30	2,12	2,21	2,09	2,14	2,14				
30	2,26	2,57	2,18	2,43	2,15	2,53	2,12	2,30	2,11	2,27	2,11	2,27	2,08	2,18	2,06	2,11	2,11				
31	2,22	2,55	2,15	2,41	2,11	2,32	2,09	2,27	2,07	2,24	2,07	2,24	2,04	2,15	2,02	2,07	2,07				
32	2,19	2,52	2,11	2,38	2,08	2,29	2,05	2,25	2,03	2,22	2,03	2,22	2,01	2,13	1,98	2,04	2,04				
33	2,16	2,50	2,08	2,36	2,04	2,27	2,02	2,22	2,00	2,19	2,00	2,19	1,99	2,10	1,95	2,01	2,01				
34	2,13	2,48	2,05	2,34	2,01	2,25	1,98	2,20	1,97	2,17	1,97	2,17	1,94	2,07	1,92	1,98	1,98				

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 13 – Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos com acostamento de concreto.

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

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 14 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos sem acostamento de concreto.

Espessura da placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			200		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	3,51	3,61	3,50	3,57	3,49	3,54	3,48	3,48	3,52	3,48	3,51	3,47	3,47	3,49	3,45	3,47	3,45	3,47			
13	3,41	3,53	3,39	3,48	3,39	3,45	3,38	3,38	3,43	3,38	3,41	3,37	3,37	3,39	3,35	3,39	3,35	3,37			
14	3,32	3,45	3,30	3,39	3,29	3,36	3,28	3,28	3,34	3,28	3,33	3,27	3,27	3,30	3,25	3,30	3,25	3,28			
15	3,23	3,45	3,21	3,31	3,20	3,28	3,19	3,26	3,31	3,19	3,24	3,18	3,18	3,22	3,16	3,22	3,16	3,20			
16	3,15	3,37	3,12	3,24	3,12	3,21	3,10	3,18	3,26	3,10	3,17	3,09	3,09	3,14	3,08	3,14	3,08	3,12			
17	3,07	3,30	3,05	3,17	3,04	3,14	3,02	3,11	3,21	3,02	3,10	3,01	3,01	3,07	3,00	3,07	3,00	3,04			
18	2,99	3,24	2,97	3,11	2,96	3,07	2,95	3,05	3,15	2,95	3,03	2,93	2,93	3,00	2,92	2,97	2,92	2,97			
19	2,93	3,18	2,90	3,05	2,89	3,01	2,88	2,98	3,08	2,88	2,97	2,86	2,86	2,93	2,85	2,91	2,85	2,91			
20	2,86	3,12	2,83	3,00	2,83	2,95	2,81	2,92	3,02	2,81	2,91	2,79	2,79	2,87	2,79	2,84	2,79	2,84			
21	2,80	3,06	2,77	2,93	2,76	2,89	2,74	2,86	2,96	2,74	2,85	2,73	2,73	2,81	2,72	2,78	2,72	2,78			
22	2,74	3,01	2,71	2,88	2,70	2,84	2,68	2,81	2,91	2,68	2,80	2,67	2,67	2,76	2,66	2,73	2,66	2,73			
23	2,68	2,96	2,65	2,83	2,64	2,79	2,62	2,76	2,86	2,62	2,74	2,61	2,61	2,70	2,59	2,67	2,59	2,67			
24	2,63	2,91	2,60	2,78	2,59	2,74	2,57	2,71	2,81	2,57	2,69	2,55	2,55	2,65	2,54	2,62	2,54	2,62			
25	2,58	2,87	2,54	2,74	2,54	2,69	2,52	2,67	2,77	2,52	2,65	2,50	2,50	2,60	2,49	2,57	2,49	2,57			
26	2,53	2,83	2,50	2,70	2,49	2,65	2,47	2,62	2,72	2,47	2,61	2,45	2,45	2,56	2,44	2,53	2,44	2,53			
27	2,48	2,79	2,45	2,66	2,44	2,61	2,42	2,58	2,68	2,42	2,57	2,40	2,40	2,52	2,39	2,49	2,39	2,49			
28	2,43	2,75	2,40	2,63	2,39	2,57	2,37	2,54	2,64	2,37	2,53	2,35	2,35	2,48	2,34	2,45	2,34	2,45			
29	2,39	2,72	2,36	2,59	2,35	2,54	2,33	2,51	2,61	2,33	2,49	2,31	2,31	2,44	2,30	2,41	2,30	2,41			
30	2,43	2,69	2,31	2,56	2,30	2,50	2,28	2,47	2,57	2,28	2,45	2,26	2,26	2,41	2,25	2,37	2,25	2,37			
31	2,30	2,65	2,27	2,52	2,26	2,47	2,24	2,43	2,53	2,24	2,43	2,22	2,22	2,37	2,21	2,34	2,21	2,34			
32	2,26	2,62	2,23	2,49	2,22	2,43	2,20	2,40	2,50	2,20	2,38	2,18	2,18	2,33	2,17	2,30	2,17	2,30			
33	2,22	2,59	2,19	2,46	2,18	2,40	2,16	2,37	2,47	2,16	2,35	2,14	2,14	2,30	2,13	2,27	2,13	2,27			
34	2,18	2,56	2,15	2,43	2,14	2,37	2,12	2,33	2,43	2,12	2,32	2,10	2,10	2,27	2,09	2,24	2,09	2,24			

ES: Eixos Simples
ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 15 – Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos sem acostamento de concreto.

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

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 16 – Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos com acostamento de concreto.

Espessura da placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			180		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	3,07	3,09	3,02	2,99	3,00	2,93	2,97	2,90	2,88	2,96	2,88	2,94	2,84	2,92	2,83	2,84	2,92	2,83			
13	2,97	3,02	2,92	2,92	2,90	2,86	2,87	2,83	2,80	2,86	2,80	2,84	2,76	2,82	2,74	2,76	2,82	2,74			
14	2,88	2,96	2,83	2,85	2,81	2,79	2,78	2,76	2,73	2,77	2,73	2,75	2,68	2,73	2,66	2,68	2,73	2,66			
15	2,80	2,89	2,75	2,79	2,73	2,72	2,70	2,69	2,66	2,69	2,66	2,67	2,61	2,65	2,59	2,61	2,65	2,59			
16	2,72	2,84	2,67	2,73	2,65	2,66	2,62	2,63	2,60	2,61	2,60	2,59	2,55	2,57	2,52	2,55	2,57	2,52			
17	2,64	2,78	2,60	2,68	2,58	2,60	2,55	2,57	2,54	2,54	2,54	2,52	2,48	2,49	2,45	2,48	2,49	2,45			
18	2,57	2,73	2,53	2,62	2,51	2,55	2,48	2,51	2,47	2,47	2,48	2,45	2,42	2,42	2,39	2,42	2,42	2,39			
19	2,51	2,69	2,47	2,57	2,44	2,50	2,41	2,46	2,40	2,40	2,43	2,38	2,36	2,36	2,33	2,38	2,36	2,33			
20	2,44	2,64	2,41	2,53	2,38	2,45	2,35	2,41	2,34	2,34	2,38	2,32	2,31	2,29	2,28	2,32	2,29	2,28			
21	2,38	2,60	2,35	2,48	2,32	2,40	2,29	2,36	2,28	2,28	2,33	2,26	2,26	2,23	2,22	2,26	2,23	2,22			
22	2,33	2,56	2,30	2,44	2,27	2,36	2,24	2,32	2,23	2,23	2,29	2,21	2,21	2,18	2,17	2,21	2,18	2,17			
23	2,27	2,52	2,24	2,40	2,21	2,31	2,18	2,27	2,17	2,17	2,24	2,15	2,17	2,12	2,12	2,17	2,12	2,12			
24	2,23	2,48	2,10	2,36	2,16	2,28	2,13	2,24	2,12	2,12	2,20	2,10	2,13	2,07	2,08	2,13	2,07	2,08			
25	2,18	2,43	2,14	2,33	2,11	2,24	2,09	2,20	2,08	2,08	2,17	2,05	2,09	2,02	2,03	2,05	2,02	2,03			
26	2,14	2,39	2,09	2,29	2,06	2,21	2,04	2,17	2,03	2,03	2,13	2,01	2,06	1,97	1,99	2,01	1,97	1,99			
27	2,19	2,35	2,05	2,26	2,02	2,17	2,00	2,13	1,99	1,99	2,10	1,96	2,03	1,93	1,95	1,96	1,93	1,95			
28	2,06	2,32	2,01	2,23	1,98	2,14	1,95	2,10	1,94	1,94	2,07	1,92	1,99	1,94	1,94	1,92	1,98	1,94			
29	2,03	2,28	1,97	2,19	1,94	2,11	1,91	2,07	1,90	1,90	2,04	1,88	1,93	1,85	1,87	1,88	1,85	1,87			
30	1,99	2,25	1,93	2,16	1,90	2,08	1,87	2,04	1,86	1,86	2,01	1,83	1,93	1,81	1,83	1,83	1,81	1,83			
31	1,96	2,21	1,89	2,13	1,86	2,05	1,83	2,01	1,82	1,82	1,98	1,80	1,90	1,77	1,80	1,80	1,77	1,80			
32	1,92	2,18	1,86	2,11	1,83	2,03	1,80	1,99	1,79	1,79	1,95	1,76	1,87	1,74	1,76	1,76	1,74	1,76			
33	1,89	2,15	1,82	2,08	1,79	2,00	1,76	1,96	1,75	1,75	1,92	1,72	1,85	1,70	1,73	1,72	1,70	1,73			
34	1,86	2,12	1,79	2,05	1,76	1,97	1,73	1,93	1,72	1,72	1,90	1,69	1,82	1,67	1,70	1,82	1,67	1,70			

ES: Eixos Simples
ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005).

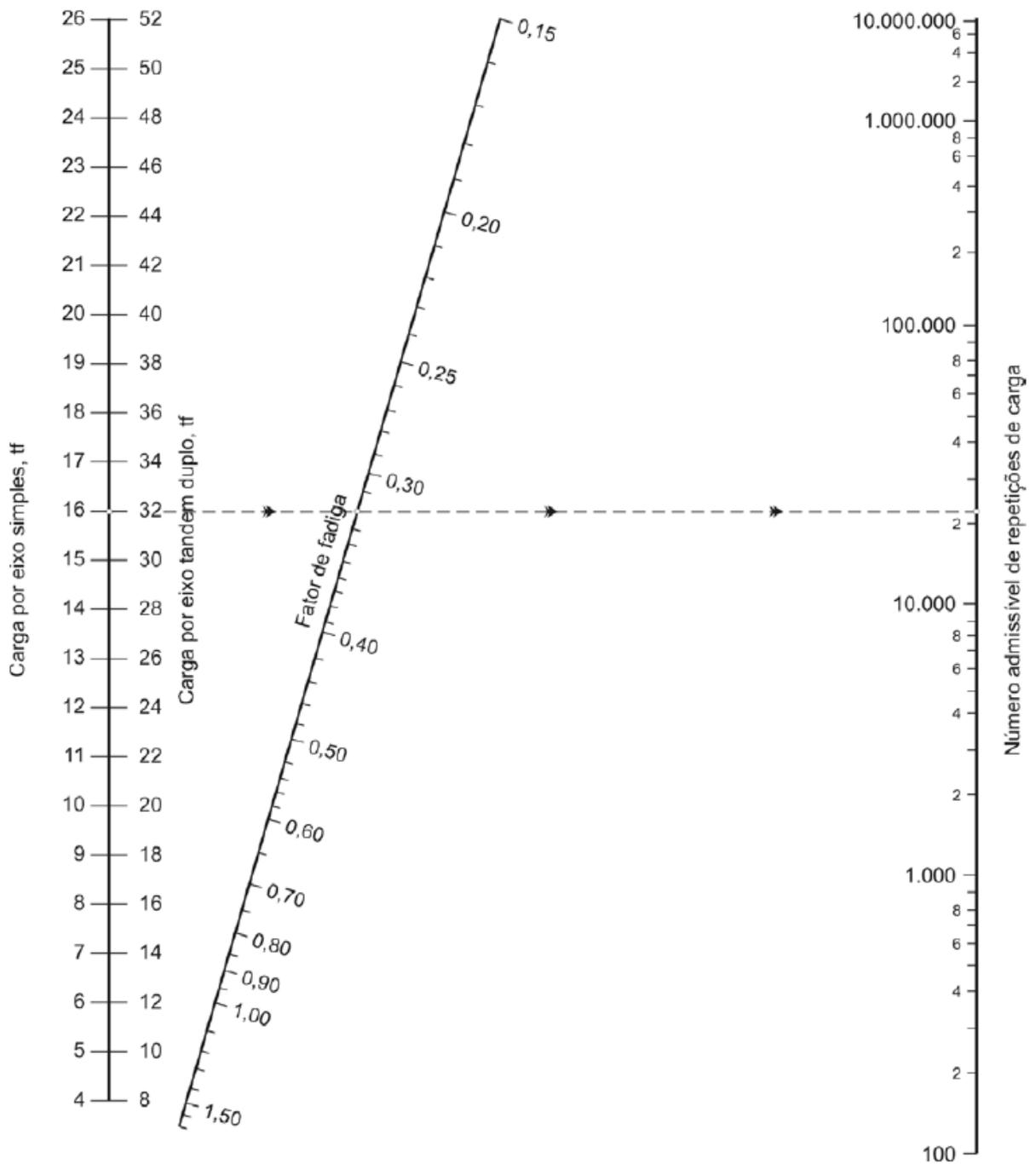
Quadro 17 – Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos para juntas sem barras de transferência e pavimentos com acostamento de concreto.

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

ETT: Eixos Tandem Triplos

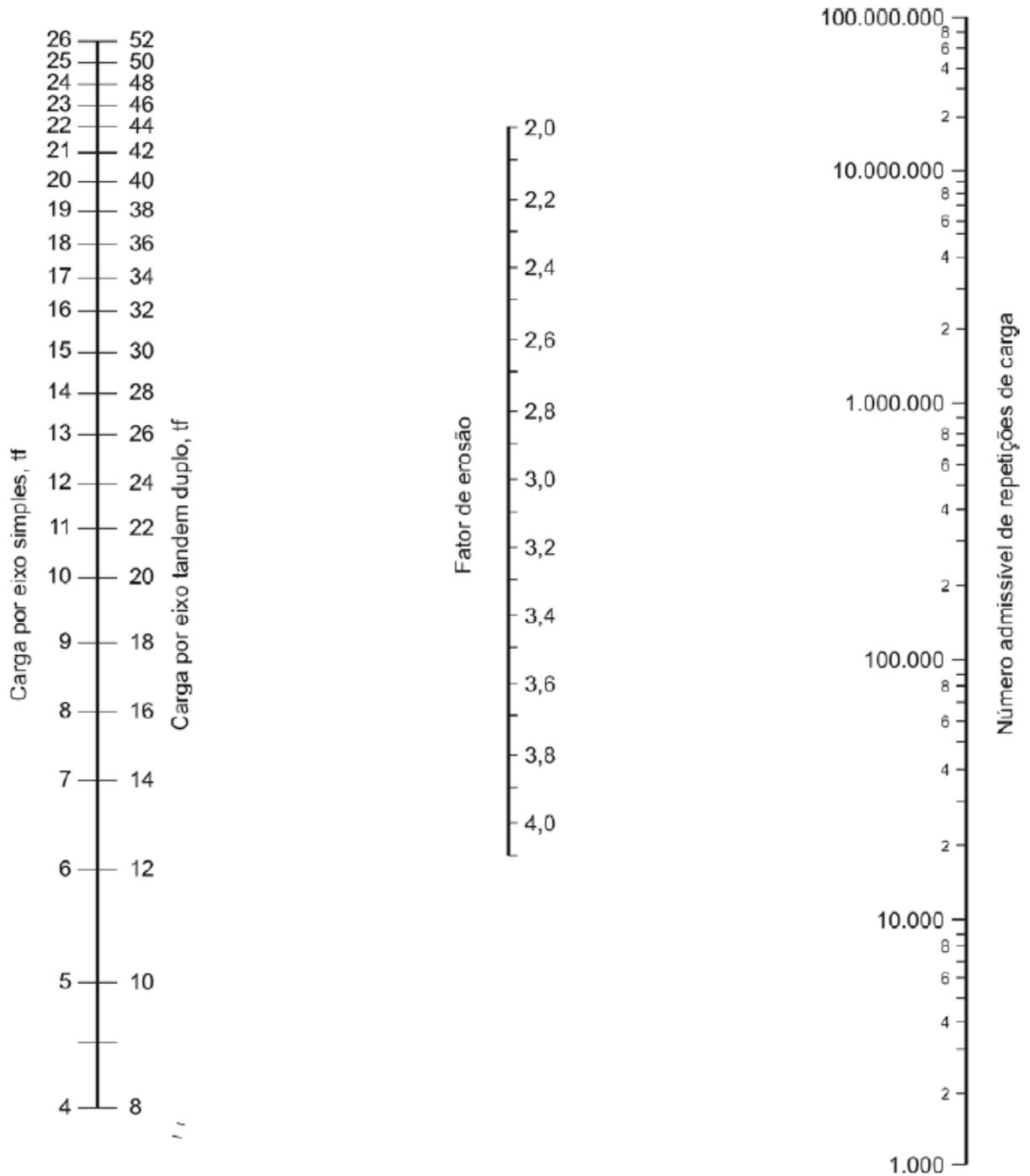
Fonte: DNIT (2005).

Figura 35 – Análise de fadiga - número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de concreto).



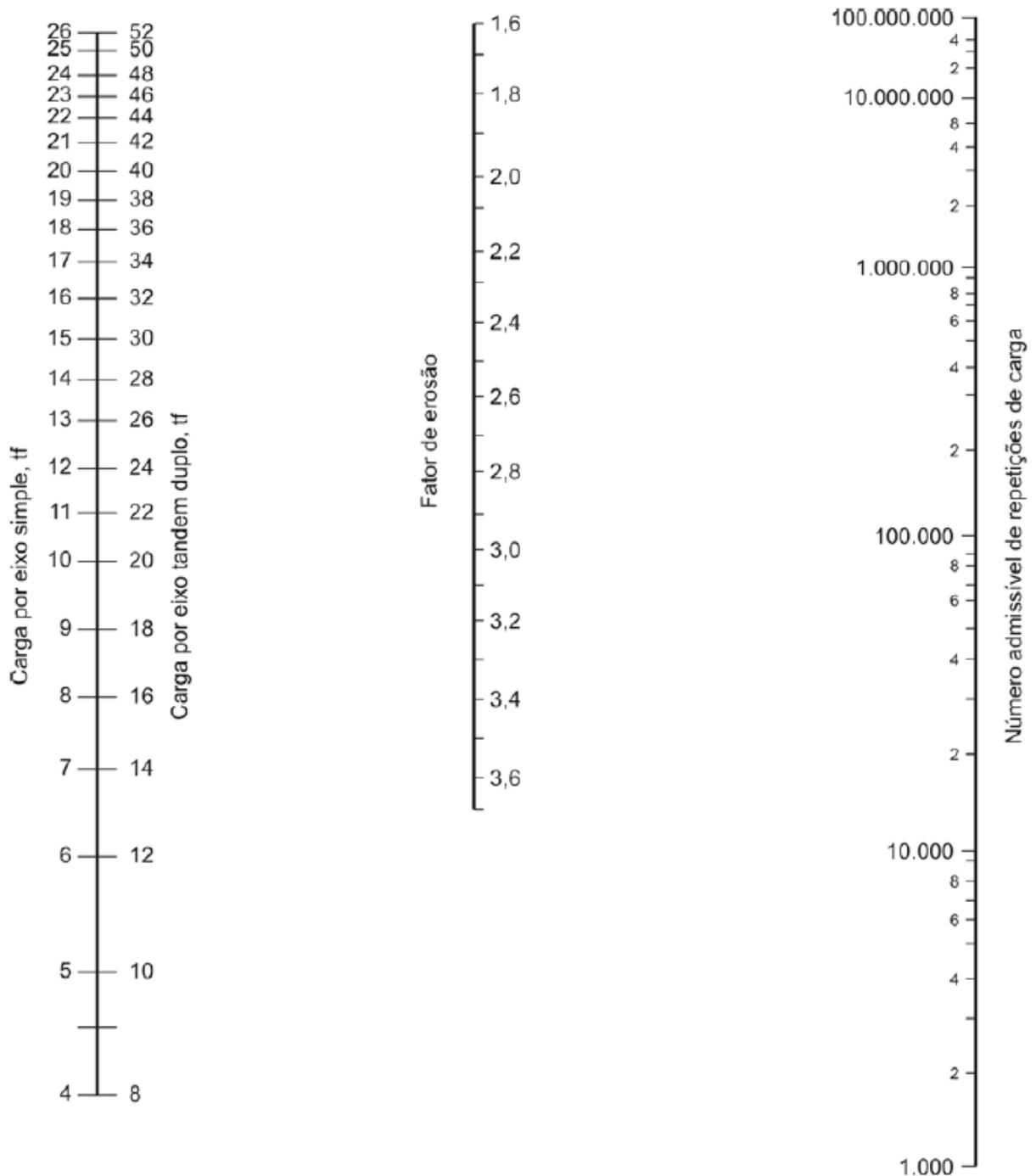
Fonte: DNIT (2005).

Figura 36 – Análise de erosão - número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto).



Fonte: DNIT (2005).

Figura 37 – Análise de erosão - número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (com acostamento de concreto).



Fonte: DNIT (2005).

ANEXO B – Resultados do estudo de subleito

Quadro 18 – Resumo dos resultados dos ensaios do Índice de Suporte Califórnia.

Eixo	Estaca	Prof. (m)	Furo	CBR (%) Proctor Normal	Expansão (%) Proctor Normal	CBR (%) Proctor Intermediário	Expansão (%) Proctor Intermediário
Sul	3 + 0	1,00	01	5,2	0,09	22	0,1
	14 + 0	1,00	02	7,2	0,07	-	-
	26 + 10	1,00	03	8,0	0,12	16	0,1
	38 + 0	1,00	04	11,2	0,10	-	-
	50 + 0	1,00	05	10,2	0,08	8	0,1
	61 + 0	1,00	06	8,0	0,10	-	-
	72 + 5	1,00	07	8,2	0,16	9	0,4
	84 + 0	1,00	08	7,2	0,15	-	-
	94 + 10	1,00	09	11,9	0,04	15	0,1
Norte	5 + 0	1,00	10	8,0	0,10	10	0,7
	15 + 10	1,00	11	7,1	0,08	-	-
	28 + 0	1,00	12	9,6	0,11	19	0,2
	39 + 5	1,00	13	8,8	0,14	-	-
	50 + 0	1,00	14	6,4	0,25	19	0,1
	61 + 0	1,00	15	10,8	0,08	-	-
	73 + 10	1,00	16	6,4	0,08	7	0,6
	85 + 5	1,00	17	9,5	0,12	-	-
	95 + 10	1,00	18	8,2	0,15	8	0,3

Fonte: TPF (2022).

Quadro 19 – Resumo dos resultados dos ensaios de compactação.

Eixo	Estaca	Prof. (m)	Furo	Umidade Ótima (%) Proctor Normal	M.E.A. Seca Máx. (g/cm³) Proctor Normal	Umidade Ótima (%) Proctor Intermediário	M.E.A. Seca Máx. (g/cm³) Proctor Intermediário
Sul	3 + 0	1,00	01	15	1,698	16,4	1,698
	14 + 0	1,00	02	16,4	1,765	-	-
	26 + 10	1,00	03	14,6	1,666	13,6	1,8
	38 + 0	1,00	04	15,7	1,708	-	-
	50 + 0	1,00	05	20,4	1,575	17,6	1,638
	61 + 0	1,00	06	13,2	1,845	-	-
	72 + 5	1,00	07	13,3	1,653	13,6	1,767
	84 + 0	1,00	08	16,5	1,668	-	-
	94 + 10	1,00	09	15,1	1,669	10,2	1,728
	5 + 0	1,00	10	-	-	13,3	1,64
Norte	15 + 10	1,00	11	-	-	-	-
	28 + 0	1,00	12	18,0	1,703	12,2	1,776
	39 + 5	1,00	13	17,9	1,714	-	-
	50 + 0	1,00	14	14,3	1,759	16,9	1,642
	61 + 0	1,00	15	-	-	-	-
	73 + 10	1,00	16	16,7	1,672	10,5	1,746
	85 + 5	1,00	17	-	-	-	-
	95 + 10	1,00	18	-	-	7,8	1,788

M.E.A.=Massa Específica Aparente

Fonte: TPF (2022).

Quadro 20 – Resumo dos resultados das determinações dos Limites de Plasticidade e Liquidez.

Eixo	Estaca	Prof. (m)	Furo	Limite de Plasticidade (%)		Limite de Liquidez (%)	Índice de Plasticidade	Limite de Plasticidade (%)		Limite de Liquidez (%)	Índice de Plasticidade
				Proctor Normal	Proctor Intermediário			Proctor Normal	Proctor Intermediário		
Sul	3 + 0	1,00	01	20	31	11	37,1	24,1	13		
	14 + 0	1,00	02	20	29	9	-	-	-		
	26 + 10	1,00	03	25	40	15	35,4	19,4	16		
	38 + 0	1,00	04	18	30	12	-	-	-		
	50 + 0	1,00	05	23	39	16	NL	NP	NP		
	61 + 0	1,00	06	NP	NL	0	-	-	-		
	72 + 5	1,00	07	23	43	20	34,4	21,9	12,5		
	84 + 0	1,00	08	20	34	14	-	-	-		
	94 + 10	1,00	09	24	43	19	30,5	18,6	11,9		
	5 + 0	1,00	10	-	-	-	35,1	25,7	9,4		
Norte	15 + 10	1,00	11	-	-	-	-	-	-		
	28 + 0	1,00	12	15	31	16	33,8	18,6	15,2		
	39 + 5	1,00	13	21	34	13	-	-	-		
	50 + 0	1,00	14	24	43	19	43,6	30	13,6		
	61 + 0	1,00	15	-	-	-	-	-	-		
	73 + 10	1,00	16	-	-	-	37,1	21,3	15,8		
	85 + 5	1,00	17	-	-	-	-	-	-		
	95 + 10	1,00	18	-	-	-	-	-	-		

NP=Não Plástico

NL=Não possui Limite de Liquidez

Fonte: TPF (2022).

Quadro 21 – Resumo dos resultados das análises granulométricas por peneiramento simples.

Eixo	Estaca	Furo	Proctor Normal			Proctor Intermediário		
			Passante # n° 10 (%)	Passante # n° 40 (%)	Passante # n° 200 (%)	Passante # n° 10 (%)	Passante # n° 40 (%)	Passante # n° 200 (%)
Sul	3 + 0	01	99,6	82,5	51,8	99	85	63
	14 + 0	02	99,6	78,7	59,1	-	-	-
	26 + 10	03	98,6	77,8	47,9	98	76	49
	38 + 0	04	98,3	76,4	42,0	-	-	-
	50 + 0	05	99,6	84,5	61,9	100	88	70
	61 + 0	06	91,2	63,3	23,5	-	-	-
	72 + 5	07	99,5	79,7	56,7	97	80	55
	84 + 0	08	99,4	77,7	43,3	-	-	-
	94 + 10	09	99,5	75,7	50	99	78	46
	5 + 0	10	-	-	-	98	82	55
Norte	15 + 10	11	-	-	-	-	-	-
	28 + 0	12	98,7	78,7	46,3	99	77	49
	39 + 5	13	97,2	71,1	40,9	-	-	-
	50 + 0	14	99,6	78,6	51,2	100	86	64
	61 + 0	15	-	-	-	-	-	-
	73 + 10	16	-	-	-	95	78	47
	85 + 5	17	-	-	-	-	-	-
	95 + 10	18	-	-	-	97	52	30

Fonte: TPF (2022).

ANEXO C – Detalhes das composições

Figura 38 – Composição da regularização do subleito- parte 1.

Composição SICRO 3 - 4011210											
Minha Empresa CNPJ:											
4011210 Regularização do subleito com fresagem corte e controle automático de greide											
10/2024 Alagoas											
m ² 2.151,36 m ²											
Produção de Equipe											
NÃO DESONERADO											
A	Equipamentos	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário				
			Operativa	Improdutiva	Operativa	Improdutiva					
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	2,00000	0,97	0,03	316,8162	77,6006	619,2795				
E9580	Fresadora e distribuidora com controle de greide - 287 kW	1,00000	1,00	0,00	833,1160	287,6486	833,1160				
E9518	Grade de 24 discos rebocável de D = 60 cm (24")	2,00000	0,66	0,34	5,0511	3,5175	9,0594				
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	2,00000	0,92	0,08	253,6925	122,6235	486,4140				
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido por pneus de 11,6 t - 82 kW	2,00000	0,96	0,04	220,9244	98,0666	432,0202				
E9577	Trator agrícola sobre pneus - 77 kW	2,00000	0,66	0,34	151,9934	56,3304	238,9360				
					Custo Horário de Equipamentos		2.618,8251				
B	Mão de Obra	Quant.	Unidade	Custo Horário		Custo Horário					
				Operativa	Improdutiva						
P9824	Servente	1,00000	h	19,5786		19,5786					
				Custo horário total de mão de obra		19,5786					
				Custo horário total de execução		2.638,4037					
				Custo Unitário de Execução		1,2264					
				Fator de Influencia da Chuva - FIC		1,24					
				Custo Unitário Direto Total		1,24					

- - / AL
/ antonio_fia@hotmail.com

Figura 39 – Composição da regularização do subleito- parte 2.

Minha Empresa
CNPJ.

DESONERADO							
A	Equipamentos	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
			Operativa	Improdutiva	Operativa	Improdutiva	
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	2,00000	0,97	0,03	314,0841	74,8685	613,8153
E9580	Fresadora e distribuidora com controle de greide - 287 kW	1,00000	1,00	0,00	828,1943	282,7269	828,1943
E9518	Grade de 24 discos rebocável de D = 60 cm (24")	2,00000	0,66	0,34	5,0511	3,5175	9,0594
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	2,00000	0,92	0,08	250,3297	119,2607	479,6884
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido por pneus de 11,6 t - 82 kW	2,00000	0,96	0,04	217,5616	94,7038	425,2946
E9577	Trator agrícola sobre pneus - 77 kW	2,00000	0,66	0,34	149,4152	53,7522	233,7796
					Custo Horário de Equipamentos		2.589,8316
B	Mão de Obra	Quant.	Unidade	Custo Horário		Custo Horário	
P9824	Servente	1,00000	h	17,8186		17,8186	
					Custo horário total de mão de obra		17,8186
					Custo horário total de execução		2.607,6502
					Custo Unitário de Execução		1,2121
					Fator de Influência da Chuva - FIC		
					Custo Unitário Direto Total		1,23

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Fonte: OrçaFascio® (2025).

Figura 40 – Composição do reforço de subleito- parte 1.

		Código	Descrição	Data	Estado	Unidade	Produção de Equipe	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
									Operativa	Improdutiva	Operativa	Improdutiva	
A													
		00000001	Reforço do subleito de solo melhorado com 5% de cal e mistura na pista com material de jazida	10/2024	Alagoas	m³	150,88 m³						
Composição SICRO 3 - 000000001													
		E9027	Caminhão distribuidor de cimento e cal com capacidade de 17 m³ - 210 kW					1,00000	0,55	0,45	441,3188	130,3385	301,3777
		E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW					1,00000	0,83	0,17	316,8162	77,6006	276,1495
		E9518	Grade de 24 discos rebocável de D = 60 cm (24")					1,00000	0,62	0,38	5,0511	3,5175	4,4683
		E9524	Motoniveladora - 93 kW					1,00000	1,00	0,00	284,8760	123,0067	284,8760
		E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW					1,00000	0,65	0,35	253,6925	122,6235	207,8184
		E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido por pneus de 11.6 t - 82 kW					1,00000	0,67	0,33	220,9244	98,0666	180,3813
		E9577	Trator agrícola sobre pneus - 77 kW					1,00000	0,62	0,38	151,9934	56,3304	115,6415
Custo Horário de Equipamentos											1.370,7126		
B													
			Mão de Obra										
		P9824	Servente					1,00000				19,5786	19,5786
Custo Horário total de mão de obra											19,5786		
Custo horário total de execução											1.390,2912		
Custo Unitário de Execução											9,2145		
Fator de Influência da Chuva - FIC											0,1167		

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Figura 41 – Composição do reforço de subleito- parte 2.

Minha Empresa CNPJ.						
C	Material	Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário	
M0344	Cal hidratada - a granel	103,15000	kg	0,4941	50,9664	
				Custo unitário total de material	0,0000	
D	Atividades Auxiliares	Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário	
4016096	Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica de 1,56 m³	1,04525	m³	1,3400	1,40	
				Custo Total das Atividades	0,0000	
E	Tempos Fixos	Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário	
4016096 - 5914354	Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica de 1,56 m³ - Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m³ - carga com escavadeira de 1,56 m³ (exclusa) e descarga livre	1,95985	t	1,8500	3,63	
M0344 - 5914363	Cal hidratada - a granel - Carga, manobra e descarga de cimento ou cal hidratada a granel em caminhão silo de 30 m³	0,10315	t	17,3100	1,79	
				Custo Total dos Tempos Fixos	0,0000	
				Custo Unitário Direto Total	67,11	

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Fonte: OrçaFascio® (2025).

Figura 42 – Composição da sub-base- parte 1.

Minha Empresa CNPJ.										
Composição SICRO 3 - 4011278										
Código 4011278										
Descrição Base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento com brita comercial										
Data 10/2024										
Estado Alagoas										
Unidade m³										
Produção de Equipe 113,18 m³										
NÃO DESONERADO										
A	Equipamentos	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário			
			Operativa	Improdutiva	Operativa	Improdutiva				
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,34	0,66	316,8162	77,6006	158,9339			
E9514	Distribuidor de agregados sobre pneus autopropelido - 130 kW	1,00000	1,00	0,00	286,8905	105,0290	286,8905			
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,65	0,35	253,6925	122,6235	207,8184			
E9530	Rolo compactador liso vibratório autopropelido por pneus de 11 t - 97 kW	1,00000	0,52	0,48	256,9798	111,0214	186,9198			
							Custo Horário de Equipamentos	840,5626		
B	Mão de Obra	Quant.	Unidade	Custo Horário						
P9824	Servente	1,00000	h	19,5786			19,5786			
							Custo horário total de mão de obra	19,5786		
							Custo horário total de execução	860,1412		
							Custo Unitário de Execução	7,5998		
							Fator de Influência da Chuva - FIC			
D	Atividades Auxiliares	Quant.	Unidade	Preço Unitário						
6416042	Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h	1,00000	m³			274,1700		274,1700		

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Fonte: OrçaFascio® (2025).

Figura 43 – Composição da sub-base- parte 2.

		Custo Total das Atividades				274,1700
		Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário	
E	Tempos Fixos					
6416042 - 5914652	Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h - Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m ³ - carga em usina de solos de 300 t/h e descarga em distribuidor autopropelido	2,20000	t	3,4100	7,50	
Custo Total dos Tempos Fixos						7,5020
F	Momento de Transporte					
6416042	Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante com capacidade de 10 m ³ - 210 kW	2,20000		5914374	5914389	
Custo unitário total de transporte						289,30
Custo Unitário Direto Total						289,30
DESONERADO						
A	Equipamentos					
		Quant.	Utilização	Custo Operacional	Custo Horário	
			Operativa	Operativa	Improdutiva	
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,34	314,0841	74,8685	156,2018
E9514	Distribuidor de agregados sobre pneus autopropelido - 130 kW	1,00000	1,00	283,5277	101,6662	283,5277
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,65	250,3297	119,2607	204,4556
E9530	Rolo compactador liso vibratório autopropelido por pneus de 11 t - 97 kW	1,00000	0,52	253,6170	107,6586	183,5570
Custo Horário de Equipamentos						827,7421
B	Mão de Obra					
P9824	Servente	1,00000	h	17,8186		17,8186

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Figura 44 – Composição da sub-base- parte 3.

		Minha Empresa CNPJ:					
				Custo horário total de mão de obra	17,8186		
				Custo horário total de execução	845,5607		
				Custo Unitário de Execução	7,4709		
				Fator de Influência da Chuva - FIC			
D	Atividades Auxiliares	Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário		
6416042	Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h	1,00000	m³	274,0000	274,00		
				Custo Total das Atividades	274,0000		
E	Tempos Fixos	Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário		
6416042 - 5914652	Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h - Carga, manobra e descarga de agregados ou solos em caminhão basculante de 10 m³ - carga em usina de solos de 300 t/h e descarga em distribuidor autopropelido	2,20000	t	3,38000	7,4360		
				Custo Total dos Tempos Fixos	7,4360		
F	Momento de Transporte	Quant.	Unidade	LN	RP	P	Custo Unitário
6416042	Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante com capacidade de 10 m³ - 210 kW	2,20000		5914359	5914374	5914389	
				Custo unitário total de transporte			
				Custo Unitário Direto Total	288,94		

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Fonte: OrçaFascio® (2025).

Figura 45 – Composição do revestimento de concreto- parte 1.

Minha Empresa
CNPJ.

Composição SICRO 3 - 4011533

Código 4011533
Descrição Pavimento de concreto com formas deslizantes - areia e brita comerciais
Data 10/2024
Estado Alagoas
Unidade m³
Produção de Equipe 124,5 m³
NÃO DESONERADO

A	Equipamentos	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário	
			Operativa	Improdutiva	Operativa	Improdutiva		
E9017	Escavadeira hidráulica sobre esteira com capacidade de 0,4 m³ - 64 kW	1,00000	1,00	0,00	189,9828	95,0678	189,9828	
E9589	Máquina texturizadora e aplicadora de cura química em pavimento de concreto - 44,80 kW	1,00000	0,72	0,28	254,7356	139,1212	222,3636	
E9588	Vibrocabadora de concreto sobre esteiras com formas deslizantes - 205 kW	1,00000	1,00	0,00	1.090,7264	472,4961	1.090,7264	
Custo Horário de Equipamentos							1.503,0728	
B	Mão de Obra	Quant.	Unidade	Custo Horário		Custo Horário		
P9801	Ajudante	1,00000	h	19,9154		19,9154		
P9805	Armador	1,00000	h	29,9540		29,9540		
P9821	Pedreiro	4,00000	h	25,7535		103,0140		
P9824	Servente	12,00000	h	19,5786		234,9432		
Custo horário total de mão de obra							387,8286	
Custo horário total de execução							1.890,8994	
Custo Unitário de Execução							15,1879	
Fator de Influência da Chuva - FIC								

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Fonte: OrçaFascio® (2025).

Figura 46 – Composição do revestimento de concreto- parte 2.

Minha Empresa CNPJ.					
C	Material	Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário
M0003	Aço CA 25	0,00000	kg	6,6519	0,0000
M0004	Aço CA 50	0,00000	kg	6,5363	0,0000
M2152	Aditivo de cura para concreto	1,00000	kg	12,5904	12,5904
M0075	Arame liso recozido em aço-carbono - D = 1,24 mm (18 BWG)	0,00000	kg	9,3768	0,0000
M1377	Treliça nervurada eletrossoldada em aço CA 60	0,00000	kg	9,6811	0,0000
Custo unitário total de material					12,5904
D	Atividades Auxiliares	Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário
6416090	Usinagem para pavimento de concreto com formas deslizantes - areia e brita comerciais	1,00000	m³	391,2300	391,2300
Custo Total das Atividades					391,2300
E	Tempos Fixos	Quant.	Unidade	Preço Unitário	Custo Horário
6416090 - 5919540	Usinagem para pavimento de concreto com formas deslizantes - areia e brita comerciais - Carga, manobra e descarga de concreto de cimento em caminhão basculante de 7 m³ - carga em central de concreto de 150 m³/h e descarga em vibrocabadora	2,40000	t	3,3000	7,92
M0003 - 5914655	Aço CA 25 - Carga, manobra e descarga de materiais diversos em caminhão carroceria de 15 t - carga e descarga manuais	0,00000	t	31,0900	0,00
M0004 - 5914655	Aço CA 50 - Carga, manobra e descarga de materiais diversos em caminhão carroceria de 15 t - carga e descarga manuais	0,00000	t	31,0900	0,00
M2152 - 5914655	Aditivo de cura para concreto - Carga, manobra e descarga de materiais diversos em caminhão carroceria de 15 t - carga e descarga manuais	0,00100	t	31,0900	0,03
M1377 - 5914655	Treliça nervurada eletrossoldada em aço CA 60 - Carga, manobra e descarga de materiais diversos em caminhão carroceria de 15 t - carga e descarga manuais	0,00000	t	31,0900	0,00

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Fonte: OrçaFascio® (2025).

Figura 47 – Composição do revestimento de concreto- parte 3.

		Custo Total dos Tempos Fixos					7,9511
		Quant.	Unidade	LN	RP	P	Custo Unitário
F	Momento de Transporte						
6416090	Usinagem para pavimento de concreto com formas deslizantes - areia e brita comerciais - Caminhão basculante para concreto com capacidade de 7 m³ - 210	2,40000		5914330	5914330	5914345	
M0003	Aço CA 25 - Caminhão carroceria com capacidade de 15 t - 188 kW	0,00000		5914449	5914464	5914479	
M0004	Aço CA 50 - Caminhão carroceria com capacidade de 15 t - 188 kW	0,00000		5914449	5914464	5914479	
M2152	Aditivo de cura para concreto - Caminhão carroceria com capacidade de 15 t - 188 kW	0,00100		5914449	5914464	5914479	
M1377	Treliza nervurada eletrossoldada em aço CA 60 - Caminhão carroceria com capacidade de 15 t - 188 kW	0,00000		5914449	5914464	5914479	
Custo unitário total de transporte							
Custo Unitário Direto Total							427,02
DESONERADO							
A	Equipamentos	Quant.	Unidade	Utilização		Custo Operacional	
				Operativa	Improdutiva	Operativa	Improdutiva
E9017	Escavadeira hidráulica sobre esteira com capacidade de 0,4 m³ - 64 kW	1,00000		1,00	0,00	186,6200	91,7050
E9589	Máquina texturizadora e aplicadora de cura química em pavimento de concreto - 44,80 kW	1,00000		0,72	0,28	251,3728	135,7584
E9588	Vibrocabadora de concreto sobre esteiras com formas deslizantes - 205 kW	1,00000		1,00	0,00	1,085,8047	467,5744
Custo Horário de Equipamentos							1,491,4255
B	Mão de Obra	Quant.	Unidade	Custo Horário		Custo Horário	Custo Horário
P9801	Ajudante	1,00000	h	18,1136			18,1136
P9805	Armador	1,00000	h	26,8852			26,8852

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Fonte: OrçaFascio® (2025).

Figura 48 – Composição do revestimento de concreto- parte 4.

		Minha Empresa CNPJ.							
P9821	Pedreiro	4,00000	h	23,1772					92,7068
P9824	Servente	12,00000	h	17,8186					213,8232
				Custo horário total de mão de obra				351,5308	
				Custo horário total de execução				1.842,9563	
				Custo Unitário de Execução				14,8029	
				Fator de Influência da Chuva - FIC					
C	Material	Quant.	Unidade	Preço Unitário		Custo Horário			
M0003	Aço CA 25	0,00000	kg	6,6519					0,0000
M0004	Aço CA 50	0,00000	kg	6,5363					0,0000
M2152	Aditivo de cura para concreto	1,00000	kg	12,5904					12,5904
M0075	Arame liso recozido em aço-carbono - D = 1,24 mm (18 BWG)	0,00000	kg	9,3768					0,0000
M1377	Treliça nervurada eletrossoldada em aço CA 60	0,00000	kg	9,6811					0,0000
				Custo unitário total de material				12,5904	
D	Atividades Auxiliares	Quant.	Unidade	Preço Unitário		Custo Horário			
6416090	Usinagem para pavimento de concreto com formas deslizantes - areia e brita comerciais	1,00000	m³	391,0500					391,05
				Custo Total das Atividades				391,0500	
E	Tempos Fixos	Quant.	Unidade	Preço Unitário		Custo Horário			
6416090 - 5919540	Usinagem para pavimento de concreto com formas deslizantes - areia e brita comerciais - Carga, manobra e descarga de concreto de cimento em caminhão basculante de 7 m³ - carga em central de concreto de 150 m³/h e descarga em vibrocabadora	2,40000	t	3,27000					7,8480
M0003 - 5914655	Aço CA 25 - Carga, manobra e descarga de materiais diversos em caminhão carroceria de 15 t - carga e descarga manuais	0,00000	t	29,97000					0,0000

- - / AL
/ antonio_fla@hotmail.com

Fonte: OrçaFascio® (2025).

