

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO – UNISAGRADO

LEONARDO ACOSTA

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM PEDERNEIRAS-SP:
ESTUDO DE CASO E RECOMENDAÇÕES

BAURU

2023

LEONARDO ACOSTA

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM PEDERNEIRAS-SP:
ESTUDO DE CASO E RECOMENDAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil - Centro
Universitário Sagrado Coração.

Orientadora: Prof.^a Ma. Fabiana Costa
Munhoz

BAURU

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

A185d	<p>Acosta, Leonardo</p> <p>Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis em Pederneiras - SP: Estudo de Caso e Recomendações / Leonardo Acosta. -- 2023. 34f. : il.</p> <p>Orientadora: Prof.^a M.^a Fabiana Costa Munhoz</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Infraestrutura. 2. Modal Rodoviário. 3. Prefeitura. 4. Parâmetros. I. Munhoz, Fabiana Costa. II. Título.</p>
-------	---

LEONARDO ACOSTA

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM PEDERNEIRAS-SP:
ESTUDO DE CASO E RECOMENDAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil - Centro
Universitário Sagrado Coração.

Aprovado em: ___/___/___.

Banca examinadora:

Prof.^a Ma. Fabiana Costa Munhoz (Orientadora)
Centro Universitário Sagrado Coração

Prof. Dra. Erica Lemos Gulinelli (Banca)
Centro Universitário Sagrado Coração

Eng. Leonardo Fais (Banca)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, não apenas por esse momento tão especial, mas por ter abençoado a mim e minha família todos os dias. Sem Ele, sei que jamais estaria tendo o privilégio de estar completando mais uma etapa de minha vida.

Agradeço aos meus pais e irmã que são as pessoas mais importantes da minha vida. Espero um dia ser capaz de compensar todo o esforço, amor e dedicação que vocês depositam em mim. A vocês, só devo gratidão.

Agradeço aos meus professores que fizeram parte de minha jornada na graduação, sem vocês, nada disso seria possível. Espero ser capaz de honrar com todos os ensinamentos que vocês transmitiram. Em especial, agradeço a Prof.^a Ma. Fabiana Costa Munhoz, por toda dedicação, respeito e apoio diário que providenciou, não só a mim, mas para toda nossa turma, durante todos os cinco anos de graduação.

Agradeço a minha turma por sempre ter dado aporte para mim quando necessitei, por todos os trabalhos que apresentamos, por todos os momentos tensos que passamos e por todas as risadas que demos. Vocês marcaram minha vida e espero ter marcado a de vocês.

“O próprio Senhor irá à sua frente e estará com
você; ele nunca o deixará, nunca o abandonará.
Não tenha medo! Não se desanime”
(DEUTERONÔMIO 31:8).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Malha rodoviária brasileira.....	13
Figura 2 – Camadas do pavimento asfáltico.....	15
Figura 3 – Ábaco de dimensionamento de pavimento	17
Figura 4 – Denominação das camadas do pavimento asfáltico	17
Figura 5 - Mapa Pedológico do Estado de São Paulo	20
Figura 6 – Evolução da frota de veículos em Pederneiras – São Paulo.....	24
Figura 7 - dimensionamento para tráfego leve	25
Figura 8 - dimensionamento para tráfego médio.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de equivalência estrutural	18
Tabela 2 - Distribuição de Student	22
Tabela 3 - Classificação das vias urbanas	23

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CBR	California Bearing Ratio
IPR	Instituto de Projetos Rodoviários
ISC	Índice de suporte Califórnia
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	METODOLOGIA.....	12
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1	MODAL RODOVIÁRIO BRASILEIRO.....	12
3.2	TIPOS DE PAVIMENTOS.....	14
3.2.1	Pavimento flexível ou asfáltico.....	14
3.2.2	Comparativo de pavimento no Brasil e nos países desenvolvidos.....	15
3.2.3	Pavimento rígido (concreto-cimento).....	15
3.3	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO - METODOLOGIA EMPÍRICA.....	15
3.3.1	Metodologia Empírica.....	16
4	RESPECIFICAÇÕES DO PROJETO PARA A CIDADE DE PEDERNEIRAS ...	18
4.1	CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SUBLEITO.....	18
4.1.1	Caracterização do solo da cidade de Pederneiras – SP.....	19
4.1.2	Cálculo do CBR ou Mini-CBR.....	21
4.2	CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS URBANAS.....	22
4.3	ANÁLISE MECANICISTA À FADIGA DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS...	28
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
	REFERÊNCIAS.....	30

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM PEDERNEIRAS-SP: ESTUDO DE CASO E RECOMENDAÇÕES

LEONARDO ACOSTA

Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO)
leonardo001.acosta@hotmail.com

RESUMO

A pavimentação é um aspecto fundamental para o desenvolvimento da sociedade, pois está atrelada à infraestrutura urbana, e essa por sua vez, à qualidade de vida das pessoas. O Brasil é extremamente dependente do modal rodoviário para realizar o transporte de passageiros e de cargas, porém, pesquisas recentes indicam que as rodovias de forma geral apresentam muitos problemas, seja pela falta de manutenção ou por um dimensionamento equivocados. O pavimento ruim, resulta em danos ao meio ambiente, pois os veículos consomem mais combustível, também reflete em maior desgaste das peças do veículo, aumentando a incidência de manutenções, fazendo com que empresas possam aumentar o valor final de seu produto. Diante disso, se faz necessário que os órgãos responsáveis pela pavimentação, utilizem de normas e procedimentos adequados e estejam sujeitos a fiscalização. Esse trabalho foi desenvolvido visando oferecer ao município de Pederneras-SP, um direcionamento, quanto aos projetos de dimensionamento de pavimentos flexíveis (por ser o tipo de pavimento mais utilizado em solo brasileiro). Tendo em vista que até o momento, não há clareza de quais são os critérios exigidos pela prefeitura para a aprovação de projetos de pavimentação. Esse trabalho, portanto, apresenta os requisitos que o projetista deverá seguir para dimensionar o pavimento asfáltico, tendo como base normas técnicas e instruções de projeto. Dessa forma, é possível atribuir parâmetros, diminuindo a discrepância de projetos e facilitando a análise do órgão fiscalizador.

Palavras-chave: Infraestrutura. Modal rodoviário. Prefeitura. Parâmetros.

ABSTRACT

Texto do Resumo em língua estrangeira. Paving is a fundamental aspect for the development of society, as it is linked to urban infrastructure, and this in turn, to people's quality of life. Brazil is extremely dependent on road transport to transport passengers and cargo, however, recent research indicates that highways in general present many problems, whether due to lack of maintenance or incorrect sizing. Bad pavement results in damage to the environment, as vehicles consume more fuel, it also results in greater wear and tear on vehicle parts, increasing the incidence of maintenance, enabling companies to increase the final value of their product. Therefore, it is necessary for the bodies responsible for paving to use appropriate standards and procedures and be subject to inspection. This work was developed with the aim of providing the municipality of Pederneras-SP with guidance regarding flexible pavement design projects (as it is the type of pavement most used on Brazilian soil). Considering that so far, there is no clarity on the criteria required by the city hall for the approval of paving projects. This work, therefore, presents the requirements that the designer must follow to size the asphalt pavement, based on technical standards and design instructions. This way, it is possible to assign parameters, reducing the discrepancy between projects and facilitating the analysis of the supervisory body.

Keywords: Infrastructure. Road transport. City hall; Parameters.

1 INTRODUÇÃO

Obras de infraestrutura desempenham um papel fundamental para o desenvolvimento de uma nação. De acordo com Yazbek (2006, p. 30) “Obras de infraestrutura são obras de construção pesada, tais como aeroportos, portos, rodovias, obras de saneamento, usinas hidroelétricas e nucleares, obras de arte, dentre outros”. No escopo das cidades, a infraestrutura urbana está relacionada ao conjunto de serviços e obras com o objetivo de atender às demandas básicas da população, possibilitando o desenvolvimento socioeconômico das cidades, desde que haja um bom planejamento e execução de todas as etapas que acompanham a sua formulação.

Um dos pontos essenciais da infraestrutura urbana é o sistema viário e rodoviário, responsáveis por promover o deslocamento de pessoas e cargas. É importante ressaltar que não somente a implantação de uma rodovia ou de vias urbanas são importantes, mas também a qualidade e desempenho são de extrema importância para sanar as necessidades da população.

O modal rodoviário corresponde ao maior meio de transporte brasileiro, responsável por fazer o transporte de milhões de passageiros mensalmente e por movimentar bilhões de reais anualmente. Segundo CNT (2022), o número de veículos registrados foi de 111.446.870 no ano de 2021. Além disso aproximadamente 60% de tudo que é produzido e consumido no país, chega em seu destino através do modal rodoviário. Portanto, fica evidenciado que as rodovias e vias urbanas são fundamentais para o desenvolvimento de uma sociedade de forma geral.

Porém, esse grande número de rodovias não representa, na mesma proporção de sua quantidade, qualidade. Isso significa dizer que, embora as rodovias sejam as principais responsáveis pelo deslocamento, tanto de carga como de passageiros, não são predominantemente, acompanhadas de uma qualidade condizente. Segundo CNT (2022), a piora dos trechos federais e estaduais sob gestão pública chama a atenção. O Estado Geral na classificação Ótimo e Bom caiu de 28,2% para 24,7%, em 2022 — sua segunda queda consecutiva - 75,3% (65.566 quilômetros) da malha rodoviária sob gestão pública apresentam algum tipo de problema, sendo classificados como Regular, Ruim ou Péssimo. Já entre as características analisadas, o pavimento destas rodovias apresentou a maior queda de qualidade: o percentual da classificação Regular, Ruim e Péssimo aumentou de 59,4%, no ano de 2021, para 62,7%, no ano de 2022

Como pode ser observado pela pesquisa, a pavimentação é um dos principais problemas apontados e foi o objeto de pesquisa avaliado que mais sofreu queda porcentual de qualidade. Segundo Bernucci, et al. (2008) o pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, cuja finalidade é resistir aos esforços oriundos do tráfego e as condições climáticas proporcionando “melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.”

A qualidade do pavimento é um ponto chave para que uma rodovia ou via urbana seja classificada como boa ou ótima. Se o pavimento apresentar patologias constantes, afetará diretamente no desempenho e conforto dos que nelas trafegam, provocando o aumento dos custos de manutenção dos veículos e consumo de combustível.

Mediante tais informações, fica claro que o pavimento desempenha um papel de extrema importância no tráfego. Tendo em vista tamanha relevância, é comum imaginar que para se dimensionar um pavimento, os municípios tenham alguma diretriz sobre como as empresas responsáveis por realizarem serviços de pavimentação devem realizar tal atividade. Porém, através de consultas em leis municipais, foi possível constatar que o município de Pederneiras-SP, cidade objeto desse trabalho, não possui nenhuma diretriz.

Além disso, o pavimento é uma estrutura responsável por grande parte do custo de uma obra. Um dimensionamento equivocado, ou traz patologias abruptas ou apresentam um custo extrapolado. Nesse sentido, seria não só de interesse do município, mas também para as empresas que trabalham no ramo da pavimentação ter um embasamento para iniciar as obras

no município. Portanto, se faz evidente que uma diretriz relacionada ao pavimento, é necessária. Logo, a finalidade desse trabalho, é dar aporte às empresas que farão projetos de pavimentação na cidade, apresentando um direcionamento de como se deve dimensionar um pavimento para o município de Pederneiras – SP.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho é a pesquisa do tipo exploratória, com a finalidade de identificar um problema (ausência da diretriz de pavimentação) e propor um direcionamento para ser utilizado como base na cidade. Esse tipo de pesquisa envolve levantamento bibliográfico, conversas com o Secretário da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de Pederneiras, pesquisas em sites do governo, embasamento em normas técnicas, além de pesquisas no site e em arquivos da própria Prefeitura Municipal. A pesquisa é um estudo de caso, uma vez que utiliza fontes de material já elaborado, constituído basicamente por livros e artigos científicos, além de trabalhos acadêmicos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Os conceitos apresentados a seguir, servirão de base técnica para o estudo.

3.1 MODAL RODOVIÁRIO BRASILEIRO

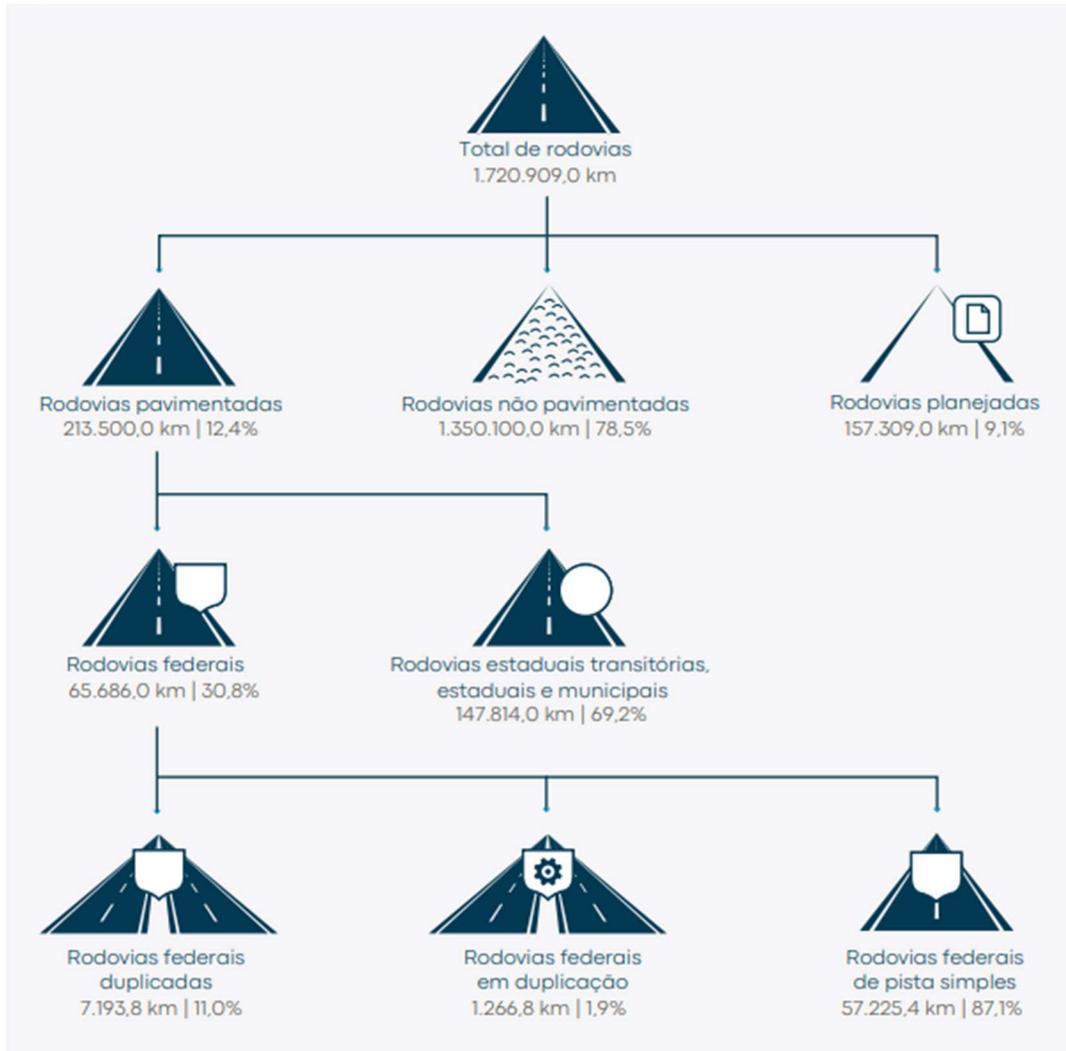
O transporte rodoviário é, basicamente, aquele que utiliza de rodovias e estradas para transportar pessoas e mercadorias, através de veículos automotores. Tem por característica ser um modal que possui alta flexibilidade, no que diz respeito: a variedade de cargas que são transportadas, a natureza das cargas e aos valores agregados delas, além de acessar com facilidade os pontos de embarque e desembarque das mercadorias e das pessoas, prestando assim, o serviço de porta a porta. Também apresenta alta capacidade de integração com os demais sistemas de transporte.

No Brasil, o modal rodoviário é disparadamente o mais utilizado quando comparado aos outros como: ferroviário, aeroviário, aquaviário e dutoviário.

Uma das razões pela qual o país tenha grande quantidade de rodovias, além das características já mencionadas nesse trabalho, é por conta de que, no início da década de 50 o Brasil, passou por um processo em que a criação de rodovias se tornou uma das principais metas para o desenvolvimento econômico do país. Rodrigues (2000), explica que o governo de Juscelino (1956-1961) tinha como lema o slogan 50 em anos em 5 e que, devido a construção de Brasília (tirando a Capital do país do litoral e levando para o interior), houve um grande aumento das indústrias automobilísticas, tendo em vista que, com a mudança da capital, seria necessário um grande investimento no setor da infraestrutura urbana, visando atender às demandas que tal mudança causaria, e com isso, as rodovias passariam a ser um símbolo de modernização.

O crescimento da malha rodoviária foi notável, saltando de 45.295 quilômetros pavimentados de rodovias no final da década de 60 para 78.000 quilômetros pavimentados, em 1980. Atualmente a malha rodoviária brasileira é composta por cerca de 1.720.909 km e é responsável pela movimentação de aproximadamente 65,0% de toda a carga e por 95,0% do total de passageiros transportados no país. CNT (2022).

Figura 1 - Malha rodoviária brasileira



Fonte: CNT (2022)

Como pode ser observado na Figura 1, o Brasil possui 213.500 km de rodovias pavimentadas, o que corresponde a apenas 12,4% da malha rodoviária brasileira, inferindo numa discrepância na qualidade do tráfego dentro do território nacional, que por sua vez, influencia dentre outros fatores como: aumento do uso de combustíveis, desconforto, e demora no tempo de viagem em comparação às pavimentadas, principalmente em dias chuvosos, no valor de transporte de cargas, não apenas pela distância entre cidades, mas também pelo desgaste excessivos de certas peças dos veículos automotores. Outro fator de grande relevância é a emissão de gases poluentes. Segundo CNT (2022) as estradas e rodovias de má qualidade acarretam um desperdício equivalente a 5% de todo o diesel consumido no país e no ano de 2018, esse desperdício foi equivalente a 876,78 milhões de litros, o que corresponde à emissão adicional de 2,32 MtCO₂eq (milhões de toneladas de CO₂).

Logo, fica evidente que, embora as rodovias e estradas sejam as maiores responsáveis pelo transporte no país, ainda há grande necessidade de investimentos no modo rodoviário, não apenas pela falta de rodovias pavimentadas, mas também pela má qualidade que essas apresentam.

3.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

Segundo a NBR-7207 (ABNT, 1982) tem-se a seguinte definição: "O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento."

O pavimento é basicamente dividido entre dois tipos: rígido e flexível, também podem ser chamados, respectivamente, de pavimento de concreto-cimento (cimento Portland) e de pavimentos asfálticos, indicando assim, o tipo de revestimento.

3.2.1 Pavimento flexível ou asfáltico

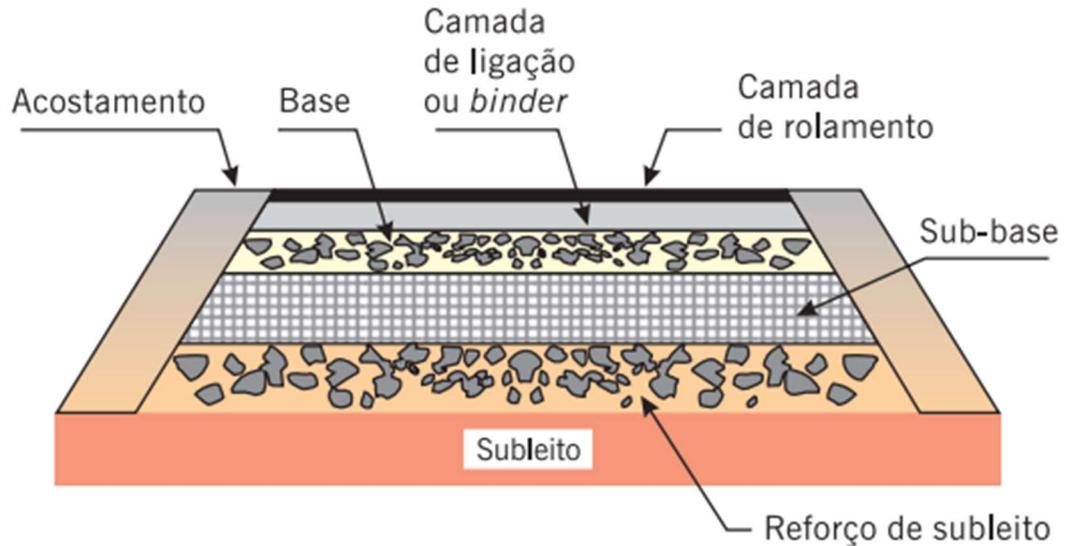
O pavimento flexível é caracterizado por ter revestimento composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. Sofrem deformações elásticas significativas, quando submetido às cargas impostas pelo tráfego, redistribuindo-as para as camadas inferiores do pavimento de forma aproximada, de forma a atenuar as pressões na medida em que a carga percorre as camadas. Como há uma concentração de tensões no local de aplicação da carga, as camadas superiores tendem a ser mais espessas do que as camadas mais próximas ao subleito, a fim de proteger o mesmo (Balbo, 2007).

O pavimento flexível é formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (Figura 2). A caracterização das camadas segue abaixo (Balbo, 2007):

- Subleito: terreno natural de fundação em que é apoiado as camadas do pavimento. Tem a função de absorver e dissipar as tensões exercidas pelo tráfego. Deve ser conhecido e estudado até a profundidade em que as cargas impostas são significativas (de 60 cm até 1,50 metros). Logo acima do subleito, é encontrada a regularização, uma faixa, que pode existir ou não, cuja função é conformar o leito (camada superficial do subleito) transversal e longitudinalmente, obtida a partir de corte e aterros até 20 cm de espessura. O subleito em si, não é considerado parte do pavimento.
- Reforço do subleito: consiste numa camada que complementa a sub-base. Tem como característica ser transversalmente constante e longitudinalmente variável, conforme o perfil traçado em projeto. É localizado logo acima do subleito regularizado e sua função é de resistir e distribuir os esforços provenientes do tráfego e de regularizar a espessura da sub-base (pode ou não contemplar o pavimento).
- Sub-base: camada complementar da base, executada quando a camada de base for muito espessa. Tem a função de resistir e distribuir as cargas solicitadas pelo tráfego, além de ser capaz de drenar infiltrações e impedir a ascensão capilar de água.
- Base: Camada responsável por resistir e distribuir aos esforços provenientes do tráfego. Às propriedades de resistência e rigidez dos materiais constituintes da base, determinam sua capacidade estrutural.
- Revestimento: é a camada superior do pavimento, destinada a melhorar as condições de rolamento, proporcionando segurança e conforto aos usuários. Tem como funções: resistir diretamente às cargas do tráfego e distribuí-la de forma atenuada para as camadas inferiores, de impermeabilizar o pavimento e de resistir aos desgastes provenientes das cargas horizontais e verticais dos veículos. A camada de revestimento

pode ser composta por camada de rolamento em contato direto com o pavimento ou por camadas de ligação.

Figura 2 – Camadas do pavimento asfáltico



Fonte: Bernucci et al (2007).

3.2.2 Comparativo de pavimento no Brasil e nos países desenvolvidos

No Brasil, o pavimento asfáltico corresponde a 99% dos pavimentos. Isso ocorre porque o custo para implementação desse tipo de pavimento, tende a ser mais econômico em comparação ao pavimento rígido, e porque “possuem a vantagem de serem facilmente empregados, pois os ensaios de caracterização exigidos são simples e não requerem aparelhagem sofisticada...” (Bezerra, 2004, p. 36).

Nos países desenvolvidos, como exemplo os Estados Unidos e países europeus, utilizam do pavimento rígido. Isso se deve, entre outros fatores ao processo de militarização desses países, que necessitam de pavimentos mais resistentes para transportar veículos militares mais pesados, além de terem um poder financeiro maior, o que facilita na implantação de pavimentos de maior qualidade.

3.2.3 Pavimento rígido (concreto-cimento)

O pavimento de concreto-cimento é composto por uma placa de cimento-portland. Nesses pavimentos a espessura da camada é fixada em função da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas inferiores. As placas de concreto podem ser armadas ou não com barras de aço. A camada abaixo, é designada sub-base, pois corresponde à sub-base do pavimento asfáltico (Balbo, 2007). À medida que as camadas do pavimento asfálticos são definidas pela resistência do subleito, as camadas do pavimento rígido são definidas pela resistência do próprio pavimento.

3.3 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO - METODOLOGIA EMPÍRICA

O dimensionamento de pavimento pelo método atual, visa a proteção do subleito contra a ruptura. As camadas do pavimento são dimensionadas de forma a protegê-lo.

O dimensionamento de estruturas de pavimentos asfálticos é um processo que envolve o conhecimento de variáveis de difícil previsão e modelagem, tais como as características dos materiais de pavimentação, o comportamento deles em relação à aplicação das cargas, o próprio carregamento e o tipo de resposta da estrutura para suportar as cargas sob todas as variações das condições climáticas durante o período de análise. [...] Uma estrutura de pavimento é projetada para que possua uma condição operacional adequada ao longo de um período de projeto determinado. Essa condição operacional vai sendo degradada ao longo do tempo devido aos problemas construtivos, à passagem das cargas e às ações climáticas. Quando o pavimento sofre qualquer intervenção de manutenção, conservação ou reabilitação, a sua condição operacional se mantém satisfatória por mais tempo. (Franco, 2007, p. 7- 9)

3.3.1 Metodologia Empírica

Desenvolvida na Califórnia Division of Highway por O.J Porter na década de 30 e difundida por Turnbull, Foster e Ahlvin durante a Segunda Guerra mundial, em aeroportos, aproveitando dados obtidos na Pista Experimental da American Association of State Highway and Transportations Officials (AASSHTO), chegou ao Brasil em 1964, trazida pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza, que fez adaptações na metodologia com a finalidade de adaptar às condições nacionais. Tal método foi oficializado em 1966 pelo DNER e passou por atualizações, sendo a última datada em 1981 com a publicação nº 667/22 do Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNER denominada Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER, 1981). Trata-se de uma variante do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – CBR.

[...] o ensaio de CBR é determinado através da relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão cilíndrico padronizado em um corpo de prova de um determinado solo, e a pressão necessária para penetrar o mesmo pistão em uma brita graduada padrão. Ou seja, ao se deparar com um resultado de CBR=10%, entende-se que aquele solo representa 10% da resistência a penetração da brita padronizada. O ensaio também permite a obtenção de outro parâmetro importante relacionado com a durabilidade, que é o índice de expansibilidade do solo, pois em uma etapa do ensaio, o solo é imerso em água por no mínimo 4 dias, possibilitando a análise da expansão da amostra ensaiada. (Donisete, 2016)

O dimensionamento de pavimentos, determinado através da metodologia empírica, tem como base para a determinação da espessura das camadas o número “N” e o número “K”, sendo que “N” expressa o volume do tráfego real da rodovia, durante o período de projeto escolhido “P”, em termos do volume de veículos com eixo-padrão de 8,2 toneladas. Ou seja, o número N corresponde em um volume equivalente de tráfego, que na prática é composto por veículos diversos, e para seu cálculo, o tráfego funciona como se fosse composto unicamente por eixos padrões. E “K” representa um coeficiente de equivalência, que relaciona a espessura necessária da camada constituída de material padrão com a espessura da camada constituída com o material que irá compor de fato.

O cálculo do número “N” é determinado pela seguinte equação:

$$N = 365 \times P \times V_m \times F_V \times F_R \quad (1)$$

Onde:

N = Número de operações do eixo padrão de 8,2 tf;

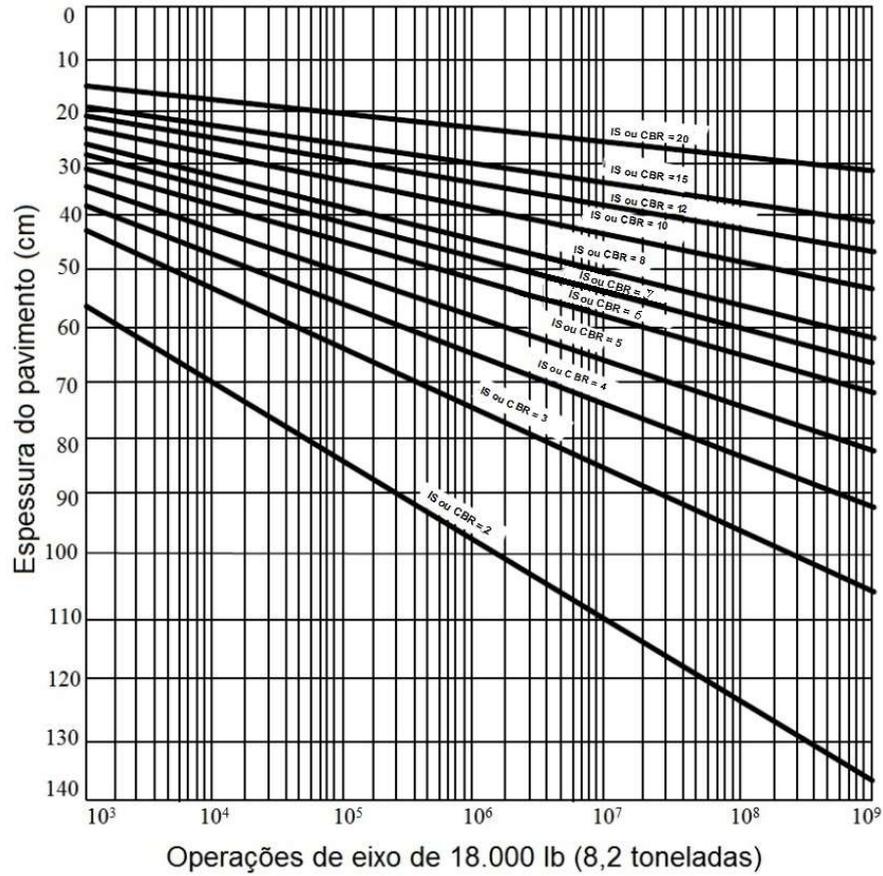
P=Período do projeto em anos;

V_m = Volume médio diário de tráfego durante a vida do projeto;

FV = Fator de veículo da frota;
 FR = Fator climático regional

Assim que determinado o número N e o CBR, se consulta o ábaco de dimensionamento de pavimento para determinar a espessura total do pavimento (Hm)

Figura 3 – Ábaco de dimensionamento de pavimento

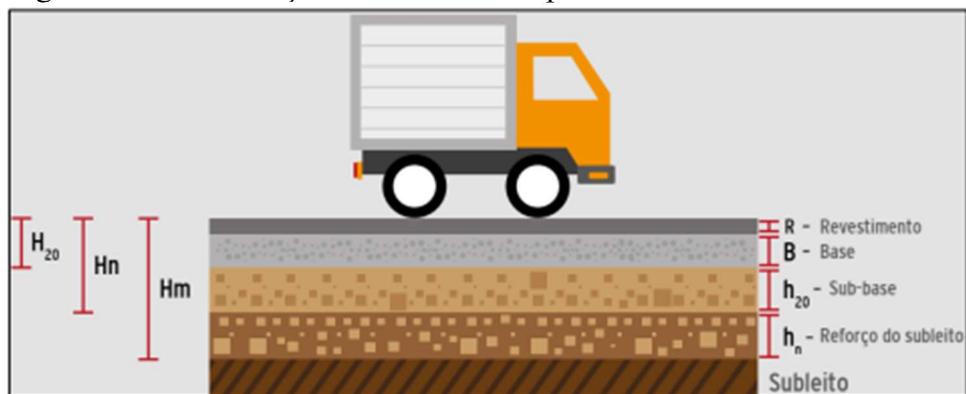


Fonte: Souza (1981, p. 18)

Uma forma alternativa ao ábaco, é utilizando a expressão (DNIT, 1981):
 $H_t = 77,67 * N * CBR - 0,598$

(2)

Figura 4 – Denominação das camadas do pavimento asfáltico



Fonte:

Onde:

R – Revestimento
 B – Base
 h20 – Espessura da camada de sub-base
 hn – Espessura da camada de reforço do subleito
 H20 – Espessura do pavimento sobre a sub-base
 Hn – Espessura do pavimento sobre o reforço do subleito
 Hm – Espessura total do pavimento (sobre o subleito)

Para dar prosseguimento ao cálculo da espessura das camadas, para isso, adota-se a base granular como material padrão e compara-se com outros materiais, utilizando o coeficiente de equivalência “K”, já citado anteriormente.

Tabela 1 - Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: DNIT (2006)

As equações a seguir determinam as espessuras das camadas (DNIT, 1981):

$$R \cdot KR + B \cdot KB \geq H20 \quad (3)$$

$$(R \cdot KR) + (B \cdot KB) + (h20 \cdot KS) \geq Hn \quad (4)$$

$$(R \cdot KR) + (B \cdot KB) + (h20 \cdot Kn) + (hn \cdot Kref) \geq Hm \quad (5)$$

Revestimento: KR

Base: KB

Sub-base: KS

Reforço: KRef

4 ESPECIFICAÇÕES DO POJETO PARA A CIDADE DE PEDERNEIRAS

4.1 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SUBLEITO

Um projeto de pavimento, deverá ser composto por estudo geotécnico nos locais onde será construído o pavimento. A correta caracterização geotécnica se dá através de sua capacidade de suporte (CBR) e caracterização dos materiais que compõem as camadas. Para caracterização geotécnica, o projetista deverá indicar qual(is) foi/foram a(s) norma(s) utilizada(s) para realizar os serviços de campo e de laboratório, sendo recomendado que siga ao menos uma das seguintes instruções:

- IP-01/2004 da Prefeitura Municipal de São Paulo
- ABNT NBR 9895:2016 –;
- DNIT 172/2016 – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio

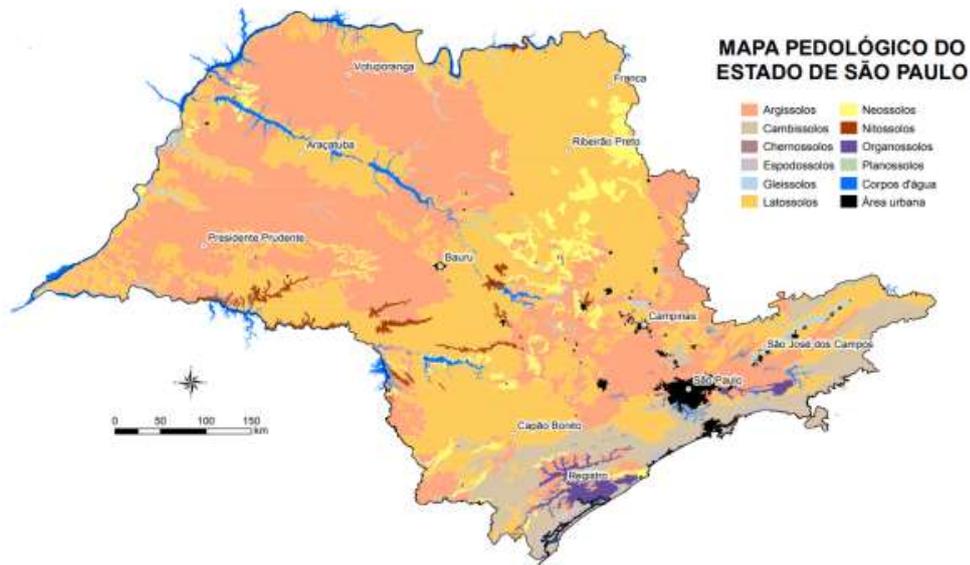
4.1.1 Caracterização do solo da cidade de Pederneiras – SP.

Segundo a Prefeitura Municipal de Pederneiras (2023), “o solo da região é formado pelo arenito de Bauru e por variedade de terrenos de massapé” e possui as seguintes características:

Este grande tipo de solo é, no geral, essencialmente arenoso. A matéria orgânica está distribuída nos primeiros 40 cm de solo. Sua cor é geralmente clara, acinzentada escura ou avermelhada. A matéria orgânica e os compostos mais ou menos hidratados de ferro são os responsáveis pela coloração destes solos. Abaixo de 40cm, o perfil pode apresentar uma camada mais ou menos argilosa, isto é, um horizonte eluvial mais ou menos denso. A profundidade deste horizonte pode, entretanto, variar bastante. A fração argila é essencialmente constituída por caulinita, estando também presente o quartzo, e, em pequena porcentagem, um tipo de argila montmorilonítica. Ainda na fração argila encontram-se óxidos mais ou menos hidratados de ferro e de alumínio, variando bastante percentualmente. É interessante notar-se a presença do tipo montmorilonítico na “fração argila” destes solos. Provavelmente originaram-se de produtos cineríticos vulcânicos que fazem parte do material da cimentação do arenito Bauru Cretáceo. São solos, em geral, profundos e permeáveis. (Prefeitura Municipal de Pederneiras, 2022, p. 3-4)

Esse solo é classificado como latossolo que segundo o Portal da Embrapa (2021), refere-se aos solos minerais, não-hidromórficos, profundos, cujas cores variam de vermelhas muito escuras a amareladas. Segundo Sousa e Lobato, o solo apresenta aspecto maciço poroso, estruturas granulares muito pequena; são macios quando secos e altamente friáveis quando úmidos. “Apresentam teor de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% e 80%. São solos com alta permeabilidade à água, podendo ser trabalhados em grande amplitude de umidade.”

Figura 5 - Mapa Pedológico do Estado de São Paulo



Fonte: Oliveira et al (1999)

O solo de Pederneiras – SP é classificado como areia fina argilosa ou areia fina siltosa. Portanto, de acordo com o item 5.1.9.2 - Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), do manual de pavimentação do DNER 697/100, página 83/327 **o solo da região é definido pelo grupo SM ou SC.**

Quadro 1- Classificação de Solos (SUCS)

SOLOS DE GRADUAÇÃO GORSSA: mais de 50% retido na peneira n°200	Pedregulhos: 50% ou mais de fração graúda retida na peneira n°4	Pedregulhos sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados com misturas de areia e pedra com pouco ou nenhum fino
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped. Com pouco ou nenhum fino
		Pedregulhos com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped. areia e silte
			GC	Pedregulhos argilosos ou mistura de ped. Areia e silte
	Areias: mais de 50% da fração graúda passarão na peneira n°4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino
			SP	Areias mal graduadas, ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e Silte
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira n200	SILTES e Argilas com LL <= 50	ML	Siltos inorgânicos	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade	
		OL	Siltos orgânicos	
	SILTES e Argilas com LL >= 50	MH	Siltos - areias finas ou siltos elásticos	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade	
		OH	Argilas orgânicas de alta e media	
Solos altamente orgânicos		PT	Solos altamente orgânicos	

Fonte: BRASIL (1996, p. 83)

Os valores prováveis de CBR para os solos SC e SM estão definidos na página 99/327 do referido manual de pavimentação e representado no quadro a seguir.

Quadro 2 -Valores de CBR e tipo de solo

Solos	CBR
GW	40 a mais de 80
GP	30 a mais de 60
GM	20 a mais de 60
GC e SW	20 a 40
SP e SM	10 a 40
SC	5 a 20
ML, CL, CH	15 a menos de 2
MH	10 a menos de 2
OL, OH	5 a menos de 2

Fonte: BRASIL (1996, p.99)

De acordo com a Tabela, os valores prováveis do CBR para a região podem variar de 5 a 40, mas para minimizar a discrepância, adota-se que a região possui um CBR médio de 20%. A tabela por si só, não é um fator determinante para a adoção do valor do CBR em projeto, sendo necessária a ratificação em campo, com base nos dados obtidos experimentalmente.

Outro critério para a classificação do solo é a classificação obtida através do ensaio de Miniatura Compactado Tropical (MCT), desenvolvido por Nogami e Villibor, como objetivo de fazer uma análise específica para solos compactados tropicais, que segundo Villibor, et al (2009, p.26) “a mesma baseia-se numa série de ensaios e procedimentos cujos resultados produzem as condições reais de camadas compactadas de solos tropicais [...]”. metodologia MCT para solos tropicais (método de ensaio ME-60 da SIURB/PMSP) e apresentar nomenclatura conforme esclarecido na sequência. Classe de comportamento laterítico, designada pelo prefixo "L". Esta classe é subdividida nos seguintes grupos:

- LA - areia laterítica;
- LA' - solo arenoso laterítico;
- LG' - solo argiloso laterítico;

Classe de comportamento não laterítico, designada pelo prefixo "N". Esta classe é subdividida nos seguintes grupos:

- NA - areia não laterítica;
- NA' - solo arenoso não laterítico;
- NS' - solo siltoso não laterítico;
- NG' - solo argiloso não laterítico.

4.1.2 Cálculo do CBR ou Mini-CBR

Os dados geotécnicos, para fins de dimensionamento de pavimento, deverão seguir a IP-01/2004 da Prefeitura Municipal de São Paulo, em que deverá conter pelo menos 3 (três) unidades de ensaios. O tratamento será tratado estatisticamente e poderá ser feito através da distribuição de Student “t”, adequada ao controle pela média de amostragens pequenas e com nível de confiança de 95% para o suporte do projeto.

Tabela 2 - Distribuição de Student

n-1	to.90	n-1	to.90	n-1	to.90	n-1	to.90
1	3,08	11	1,36	21	1,32	40	1,3
2	1.89	12	1,36	22	1,32	60	1,3
3	1.64	13	1.35	23	1,32	120	1,29
4	1,53	14	1,34	24	1,32	∞	1.28
5	1,48	15	1,34	25	1,32		
6	1,44	16	1,34	26	1,32		
7	1,42	17	1,33	27	1,31		
8	1,4	18	1,33	28	1,31		
9	1,38	19	1,33	29	1,31		
10	1,37	20	1,32	30	1,31		

onde: n = n° de amostras

Fonte: IP – 01 (2004).

A capacidade de suporte do subleito é calculada em função dos valores de CBR obtidos nos ensaios realizados em laboratório através da expressão abaixo:

$$CBR_p = \overline{CBR} - \frac{s \times t_{0,90}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Em que:

$$\overline{CBR} = \frac{\sum_{i=1}^n CBR_i}{n} \quad e \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (CBR_i - \overline{CBR})^2}{n-1}} \quad (7)$$

Onde:

- \overline{CBR}_p = CBR de projeto (%);
- \overline{CBR} = CBR Médio (%);
- s = desvio padrão;
- n = número de amostras;
- $t_{0,90}$ = coeficiente de Student relativo ao intervalo de confiança de 90%.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS URBANAS

O dimensionamento de pavimento depende diretamente do número de veículos que nele trafegam, assim como o tipo de veículos, durante o período de projeto definido. Para tal, deve ser considerado os diferentes tipos de vias para a determinação da solicitação de tráfego, expressa pelo “número N” de repetições do eixo simples padrão, como já mencionado nesse trabalho. Essas são as diretrizes de classificação das vias, em função do tráfego, geometria e uso do solo, no entrono das vias, seguindo a classificação da IP—002.

- Tráfego leve: ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um Número "N" típico de 10^5 para período de projeto de 10 anos;

- Tráfego médio: ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um Número "N" típico de 5×10^5 para período de projeto de 10 anos;
 - Tráfego médio pesado: ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um Número "N" típico de 2×10^6 para período de projeto de 10 anos;
 - Tráfego pesado: ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 301 a 1.000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um Número "N" típico de 2×10^7 para período de projeto de 12 anos;
 - Tráfego muito pesado: ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 1.001 a 2.000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um Número "N" típico de 5×10^7 para período de projeto de 12 anos;
 - Faixa exclusiva de ônibus: vias para as quais é prevista, quase que exclusivamente, a passagem de ônibus e veículos comerciais (em número reduzido), podendo ser classificadas em:
 - Faixa exclusiva de ônibus com volume médio: onde é prevista a passagem de ônibus em número não superior a 500 por dia, na faixa "exclusiva" de tráfego, caracterizado por um Número "N" típico de 107 para período de projeto de 12 anos;
 - Faixa exclusiva de ônibus com volume elevado: onde é prevista a passagem de ônibus em número superior a 500 por dia, na faixa "exclusiva" de tráfego, caracterizado por um Número "N" típico de 5×10^7 para período de projeto de 12 anos.
- A tabela a seguir sintetiza o texto exposto acima:

Tabela 3 - Classificação das vias urbanas

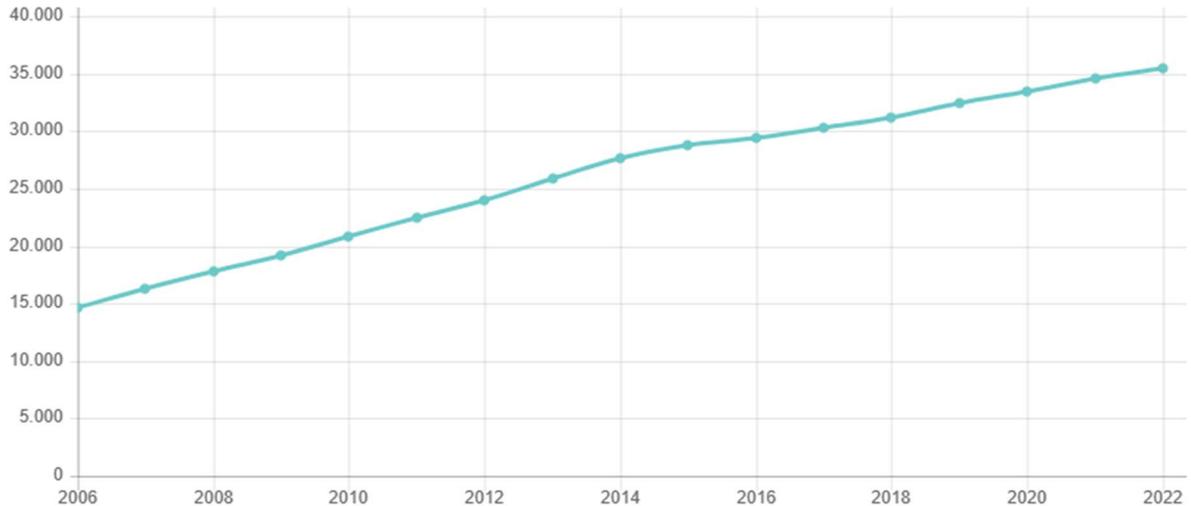
FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	PERÍODO DE PROJETO (ANOS)	VMD INICIAL NA FAIXA MAIS CARREGADA		NÚMERO "N"	NÚMERO "N" CARACTERÍSTICO
			VEÍCULOS LEVES	ÔNIBUS E CAMINHÕES		
Via local residencial	Leve	10	100 a 400	4 a 20	$2,7 \times 10^4$ a $1,4 \times 10^5$	10^5
Via coletora secundária	Médio	10	401 a 1.500	21 a 100	$1,4 \times 10^5$ a $6,8 \times 10^5$	5×10^5
Via coletora principal	Meio pesado	10	1.501 a 5.000	101 a 300	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
Via arterial	Pesado	12	5.001 a 10.000	301 a 1.000	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7
Via arterial principal ou expressa	Muito pesado	12	> 10.000	1.001 a 2.000	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	5×10^7
Faixa exclusiva de ônibus	Volume médio	12	–	< 500	3×10^6	107
	Volume pesado	12	–	> 500	5×10^7	5×10^7

Fonte: IP – 02 (2004).

Com base na tabela acima, determina-se o número N, a partir da contagem do Volume Diário Médio (VDM) de veículos, os tipos de veículos e a função da via que será implementada em questão.

O gráfico a seguir representa a quantidade de frota de veículos na cidade de Pederneiras-SP entre os anos de 2006 e 2022, segundo o IBGE.

Gráfico 1 – Evolução da frota de veículos em Pederneiras – São Paulo



Fonte: IBGE (2022)

Com base nos dados da tabela, foi obtido que a frota de veículos no ano de 2006 foi de 14.622 veículos e que no ano de 2022 a frota foi de 35.512 veículos. Correspondente a um aumento de 142,86% na frota num período analisado de 16 anos. A taxa geométrica de crescimento anual da frota de veículos será de (SÍNTESE [...], 2008).

$$r = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_t}{P_0}} \right) - 1 \right] * 100 \quad (8)$$

Em que:

r = taxa de crescimento

P_t = quantidade de veículos na contagem final (2022)

P₀ = quantidade de veículos na contagem inicial (2006)

n = tempo analisado em anos (2022 – 2006)

Portanto:

$$r = \left[\left(\sqrt[16]{\frac{35.512}{14.622}} \right) - 1 \right] * 100 = 5,70\% \text{ ao ano}$$

Logo, para o cálculo do número N, considera-se uma taxa de crescimento geométrico anual de 5,70% ano. Para o cálculo de aumento de frotas de veículos, é recomendado que siga as fórmulas presentes no manual de pavimentação do DNIT, em que considera o tráfego com crescimento geométrico aritmético.

Com a equação seguinte, calcula-se o número total de solicitações do eixo simples padrão de 82 kN, para o período de vida do projeto. Para cada tipo de via, serão calculados

dois valores de N_t , para o menor e o maior volume de tráfego, já considerado o aumento da frota de veículos anualmente. Para tanto, deverá ser seguida a IP – 02/2004 (PMSP), em que se substitui o Fator de Veículo (FV) pelo fator de equivalência de veículos (e).

$$N_t = \left(\frac{V_0 + 1,5V_0}{2} \right) \times e \times 365 \times P \text{ (para tráfego leve e meio pesado)} \quad (9)$$

$$N_t = \left(\frac{V_0 + 1,6V_0}{2} \right) \times e \times 365 \times P \text{ (para tráfego leve e meio pesado)} \quad (10)$$

Em que:

N_t = número total de solicitações do eixo simples padrão

V_0 = volume inicial

e = fator de veículo

P = período em anos

O cálculo do número N através da metodologia do DNIT, em que se faz a determinação do Fator de veículo, através do método da USACE também serão aceitos.

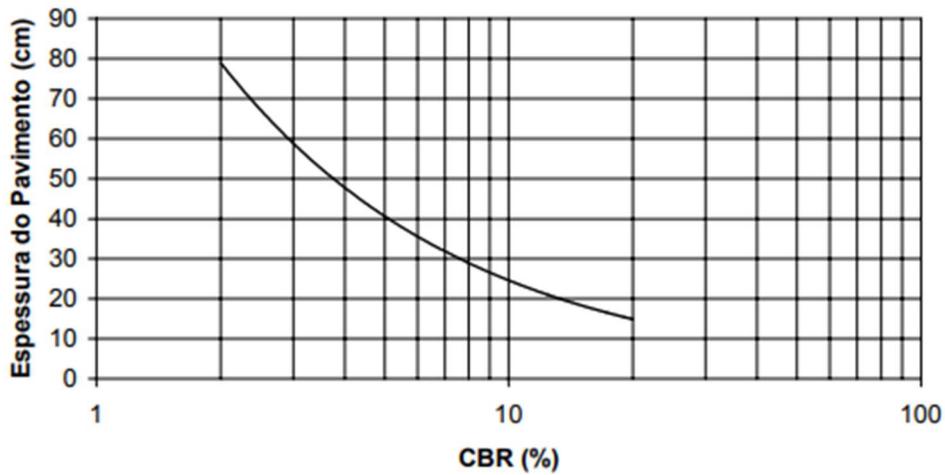
As camadas constituintes do pavimento, assim como o subleito deverão apresentar as seguintes especificações gerais, conforme preconizadas pelo manual de pavimentação do DNIT:

- a) Subleito: os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio CBR, menor ou igual a 2%
- b) Materiais para reforço do subleito, devem apresentar CBR maior do que o subleito e expansão $\leq 2\%$
- c) Materias para sub-base:
 - CBR $\geq 20\%$
 - I.G=0
 - Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 4,5Kg)
 - Limite de liquidez ≤ 25
 - Indice de plasticidade ≤ 6
- d) Materiais para base:
 - CBR ≥ 80
 - Expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 4,5Kg)
 - Limite de liquidez ≤ 25
 - Indice de plasticidade ≤ 6

Recomenda-se que para o dimensionamento de tráfego leve e médio, o projetista siga as instruções presentes nas IP 04/2004 e para tráfegos pesados e muitos pesados, siga a IP 05/2004 da Prefeitura municipal de São Paulo. É recomendado seguir as referidas instruções de projeto, tendo em vista que elas abrangem os diferentes tipos de vias urbanas e possuem recomendações de espessura mínimas das camadas do pavimento em detrimento do tipo de tráfego e conseqüente variação do número N e por incorporarem novos materiais constituintes do pavimento, que não estão contemplados no método de dimensionamento do DNIT.

Portanto, para pavimentos leves em que N característico = 1×10^5 , tem-se:

Figura 6 - Dimensionamento para tráfego leve



CBR	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20
Heq	79	59	48	41	35	32	29	27	25	23	21	18	15

Fonte: IP-04/2004 (2004)

A espessura mínima da camada de revestimento (R), considerando que é composta de Pré Misturado a Quente (PMQ) ou de Concreto Asfáltico misturado a Quente (CAUQ) será de:

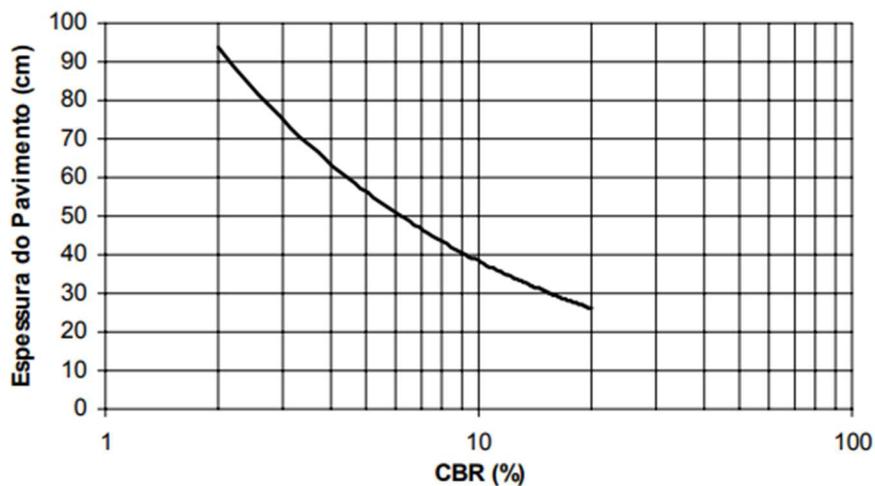
Quadro 3- Espessura mínima das camadas de revestimento (tráfego leve)

TRÁFEGO	TIPO DE REVESTIMENTO	ESPESSURA (R) em cm
LEVE	PMQ	4,0
	CAUQ	3,5

Fonte: IP-04 (2004)

Para pavimentos de tráfego médio, em que N característico = 5×10^5 , tem-se:

Figura 7 - dimensionamento para tráfego médio



CBR	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
Heq	95	75	64	57	51	48	44	40	39	34	30	26

Fonte: IP-04 (2004)

A espessura mínima da camada de revestimento deverá ser de 5,00 cm e a espessura mínima da base, em termos de material granular, deve ser de 15,00 cm.

Já para tráfego meio pesado até o tráfego muito pesado, com o N característicos com valores que variam de 2×10^6 (tráfego meio pesado) a 5×10^7 (tráfego muito pesado), tem-se o seguinte ábaco já mencionado nesse trabalho (Figura 3).

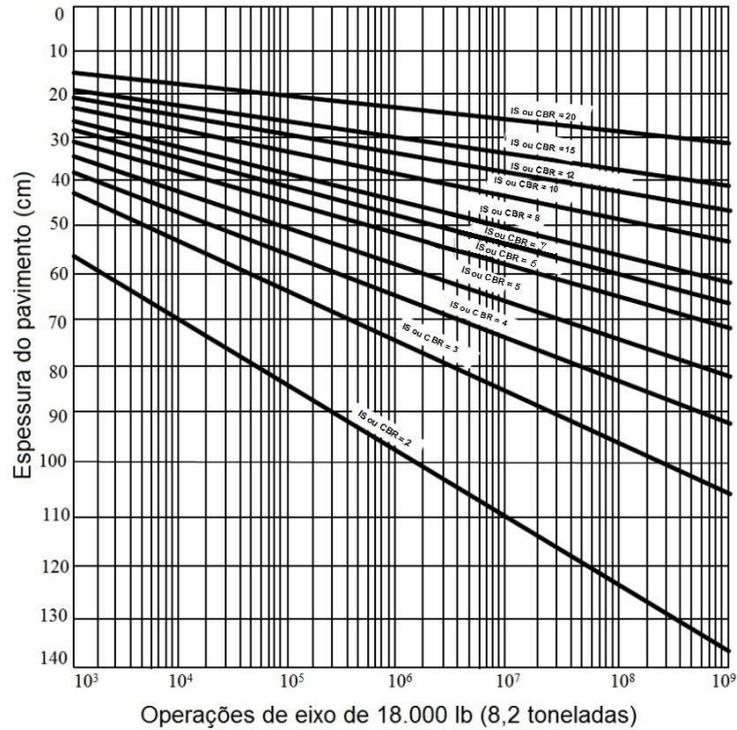


Tabela 4 - CBR em função do tipo de tráfego

CBR	MEIO PESADO	PESADO	MUITO PESADO	CORREDOR MÉDIO	CORREDOR PESADO
2	100	113	119	110	119
3	78	88	92	85	92
4	67	76	80	73	80
5	60	68	71	65	71
6	53	60	63	58	63
7	49	55	61	53	59
8	45	51	55	50	55
9	43	48	51	47	51
10	40	45	46	43	46
12	35	39	40	38	40
15	30	34	35	33	35
20	25	28	30	27	30

Fonte: IP – 05 (2004)

Quadro 4 - Espessura mínima de revestimento asfáltico

N	TRÁFEGO	ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO	
$2 \times 10^6 \leq N < 5 \times 10^6$	Meio pesado	Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura	
$5 \times 10^6 \leq N < 10^7$	----	Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura	
$10^7 \leq N < 5 \times 10^7$	Pesado	Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura	
$N \geq 5 \times 10^7$	Muito pesado	Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura	
(*)	Faixa Exclusiva de Ônibus	Adotar no mínimo 10,0 cm de concreto asfáltico	

*O CAUQ modificado por polímero deverá ser cotejado pelo projetista como alternativa neste caso, mantendo-se os requisitos estabelecidos quanto à espessura mínima.

Fonte: IP – 05 (2004)

Quadro 5 – Espessura em função do tipo de tráfego

TRÁFEGO	N	BASE		SUB-BASE	
		MATERIAL	ESPESSURA MÍNIMA (cm)	MATERIAL	ESPESSURA MÍNIMA (cm)
Meio Pesado	2×10^6	Granular	15,0	Granular	10,0
		Granular Tratado com Cimento	15,0		
Pesado	2×10^7	Granular Tratado com Cimento	15,0	Granular	10,0
Muito Pesado	5×10^7	Granular Tratado com Cimento	20,0	Granular	10,0
Faixa Exclusiva De Ônibus Volume Médio	10^7	Granular	15,0	Granular	10,0
		Granular Tratado com Cimento	15,0		
Faixa Exclusiva de Ônibus Volume Pesado	5×10^7	Granular Tratado com Cimento	20,0	Granular	10,0

Notas:

(1) Para " $N < 9 \times 10^6$ ", poderá ser usada base granular ou base tratada com cimento (BGTC).

Para " $N \geq 10^7$ " utilizar somente base cimentada, com a finalidade de evitar a fadiga prematura nas camadas betuminosas.

(2) A "base invertida" poderá ser adotada como solução de projeto.

Fonte: IP – 05 (2004)

4.3 ANÁLISE MECANICISTA À FADIGA DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS

Após fazer o dimensionamento das camadas, é necessário fazer a análise mecanicista à fadiga de estruturas do pavimento, tendo em vista que o método utilizado atualmente visa a proteção do subleito, definindo as espessuras das camadas de forma a protegê-lo de deformações plásticas excessivas e de sua ruptura. Porém não leva em consideração que as demais camadas do pavimento, se deterioraram pelo fenômeno de fadiga e por esse motivo, podem ser incapazes de desempenhar sua função estrutural de forma plena durante toda vida útil prevista de projeto (IP-08/2004). Dessa forma, se faz necessário a verificação das tensões e deformações das camadas. Para tanto recomenda-se que o projetista siga a IP-08 – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimentos, da SIURB/PMSP e a IP-DE-P00/001 do DER-SP.

Segundo o DER (2021) “A análise mecanista de pavimentos consiste na avaliação das tensões e deformações em pontos específicos da estrutura, provocadas pelo carregamento do tráfego, e na aplicação de modelos de previsão de desempenho.” Ainda segundo o DER (2021), para a realização dos cálculos de tensão e deformação das estruturas do pavimento, são utilizados programas computacionais. Os valores obtidos pelos softwares serão comparados com os valores admissíveis nos modelos existentes na literatura, determinando assim uma estrutura que seja compatível com o projeto. Ressalta-se que todo o material disponível para a verificação da análise mecanista deve ser consultado na IP-08 – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimentos, da SIURB/PMSP e na IP-DE-P00/001 do DER-SP.

Ressalta-se que atualmente há o Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa), que consiste em um novo método de pavimento do DNIT desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias em parceria com outras universidades, através da análise mecanista-empírica das camadas que compõe o pavimento. Segundo Ferreira (2021, p. 01): “Esse método analisa as tensões aplicadas sobre cada ponto importante do pavimento, bem como as variações que ocorrem ao longo do tempo, e as características dos materiais componentes.” Se trata de um método que ainda passa por análises e testes mais profundas para aprimorar o software, porém, é um bom indicador se a estrutura que foi projetada pelo projetista é capaz de resistir ao fenômeno de fadiga. O método MediNa não utiliza o CBR como base para o dimensionamento das camadas, mas sim, os materiais e os números de camadas pré-definidas para efetuar o cálculo de espessura, e no caso de materiais ou camadas forem insuficientes, o software impossibilitará a conclusão do dimensionamento, até que se faça os ajustes, de forma a atingir os critérios de camadas, conforme explica Barbosa et al (2021). Esse trabalho, contudo, não tem como objetivo a apresentação do método em si, mas sim a indicação do mesmo e sua importância para o correto dimensionamento do pavimento, seja utilizando-o desde o início, ou para checar se o dimensionamento das camadas resistirá às deformações. Para tanto, o projetista que utilizar o software, deverá seguir as instruções presentes no Manual de Ajuda - Programa Medina.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma pavimentação adequada, é essencial para o desenvolvimento de uma cidade, pois integra parte primordial da infraestrutura urbana. Cidades que não possuem um bom projeto de pavimentação, atraem menos interesse, seja esse econômico, no sentido de empresas não optarem por se estabelecerem na cidade, ou até mesmo do ponto de vista turístico, em que turistas deixam de ir ao local pelo fato das rodovias, que dão acesso a cidade, estarem deterioradas. Como o Brasil é dependente do modal rodoviário, é imprescindível que o pavimento esteja em plena condição de uso. Mas como anteriormente mencionado, segundo a CNT 2022, pavimentos de má qualidade estão presentes em grande parte do território brasileiro, acarretando maiores custos de manutenção de veículos e maior consumo de combustível, e claro, deixando de atender os requisitos que a pavimentação deve proporcionar: “conforto e segurança”. O dimensionamento de pavimento para a cidade de Pederneiras-São Paulo, deverá seguir as recomendações presentes nesse trabalho, uma vez que se embasa nas normas técnicas vigentes e apresenta dados específicos sobre o município, que influenciam no dimensionamento de pavimento. Esse estudo auxilia o setor de obras do município, que não possui atualmente um direcionamento de como se deve fazer a análise dos projetos de pavimentação na cidade. Mediante essas informações, foi apresentado um direcionamento tanto para os projetistas quanto para a prefeitura de como realizá-lo, seguindo o objetivo proposto. Essa pesquisa foi embasada por normas e instruções de projetos, as quais discriminam as etapas que um dimensionamento de pavimento deve contemplar e consistiu em juntar essas informações de forma sistêmica a facilitar o acesso dos engenheiros da prefeitura a elas. Como contribuição

social, destaca-se que o objetivo foi de auxiliar o Município de Pederneras, indicando parâmetros para facilitar a análise de projetos, que muitas das vezes é feita apenas levando apenas em consideração os custos iniciais de uma obra de pavimentação. Como sugestão de melhorias, é aconselhável que esse trabalho, seja encaminhado ao corpo técnico da prefeitura para análise e futuramente, apresentar uma diretriz de pavimentação ao município para ser implementada de fato, indicando também os demais tipos de pavimento. Como sugestão de pesquisas futuras, é recomendado que sejam pesquisas semelhantes para os demais tipos de pavimento, que atualmente têm seus usos praticamente descartados pelo município. Ressalta-se que é imprescindível que as normas e instruções de projeto aqui mencionadas, sejam consultadas e seguidas todas as etapas nelas constantes, para o correto dimensionamento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 7207**: Apresentação de relatórios técnico-científico em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 9895**: Apresentação de relatórios técnico-científico em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Ed. Oficinas de textos, 2007.

BARBOSA, D. S; SILVA, D. C; AGUIAR, M. F. M. **Análise Comparativa entre o Novo Método Nacional de Dimensionamento de Pavimentos-MEDINA e o Método DNIT**. 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. Disponível em: https://www.anpet.org.br/anais35/documentos/2021/Infraestrutura/Dimensionamento%20de%20Pavimentos/7_313_AC.pdf. Acesso em 10 out. 2023.

BERNUCCI, L.B; MOTTA, L.M.G; CERATTI, J.A.P; SOARES, J.B. **Pavimentação Asfáltica**: Formação básica para Engenheiros. Rio de Janeiro. Petrobras: ABEDA, 2008.

BEZERRA, R. **Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2004. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-03052004-153504/publico/dissertacao_rogerio.pdf. Acesso em: 27 maio 2023.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Pavimentação 697/100**. Brasil, DF: Ministério do Transportes, DF: DNER, Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/86972240/dner-697-100-manual-de-pavimentacao>. Acesso em 5 abr. 2023

BRASIL. Ministério dos Transportes. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. 3ª Ed. Rio de Janeiro, 1981.

CNT, Transporte rodoviário: **por que os pavimentos do Brasil não duram?**, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/por-que-pavimentos-rodovias-nao-duram>. Acesso em: 05 abr. 2023.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE- **Pesquisa CNT de rodovias 2022**. Brasília. CNT: SEST: SENAT, 2022. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/rodovias-brasileiras-apresentam-piora-de-qualidade>. Acesso em: 05 abr. 2023.

DER/DF - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO DISTRITO FEDERAL. **Complementação da Revisão e Atualização do Projeto Executivo de Pavimento da Duplicação da DF-250, realizado pela Empresa STE – Serviços Técnicos de Engenharia S. A. em 2014 - Trecho Compreendido Entre a DF-001 / Entrada para Sobradinho dos Melos**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://arquivos.der.df.gov.br/LIC/ITM/DWL?file=Q2QrU29VeGdyTHdhWlpYWnQ2bzBsQT09OnZUOUVku3I5MmlpT0E0aW1HR2lnRmc9PQ>. Acesso em: 01 out. 2023.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Solos – **Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. Publicação IPR – 179. Ministério dos transportes. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigda_errata_1.pdf. Acesso em 05. Abr. 2023

DONISETE, I. **Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – CBR, 2016**. Disponível em: <http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/ensaio-de-indice-de-suporte-california-cbr/>. Acesso em: 27 maio 2023.

FERREIRA, A. D. **Comparação entre Método Empírico e Mecânico-Empírico para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2021. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2021/Civil/compara%20c3%87%20c3%83o%20entre%20m%20c3%89todo%20emp%20c3%8drico%20e%20mecan%20c3%8dtico-emp%20c3%8drico%20para%20dimensionamento%20de%20pavimentos%20flex%20c3%8dveis.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

FRANCO, F. A. C. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV**. 2007. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: Domínio Público - Detalhe da Obra ([dominiopublico.gov.br](http://www.dominiopublico.gov.br)http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=82285). Acesso em 14 maio 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Frota de veículos**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/pederneiras/pesquisa/22/28120>. Acesso em: 10 abr. 2023.

OLIVEIRA, J.B; CAMARGO, M.N; ROSSI, M.A; & FILHO, B.C. **Mapa Pedológico do Estado De São Paulo**. Campinas: IAC/EMBRAPA, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PEDERNEIRAS. **Anexo II - Memorial Descritivo E Especificações Técnicas**. Pederneiras, 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PEDERNEIRAS. **Aspectos Gerais**. Disponível em: <https://www.pederneiras.sp.gov.br/portal/cidade/11/historia-de-pederneiras>. Acesso em: 10 abr. 2023 mar. 2023

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). **IP – 01 – Instrução Geotécnica**. SÃO PAULO, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). **IP – 02 – Classificação das vias**. SÃO PAULO, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). **IP – 04 – Dimensionamento de Pavimento Flexíveis para tráfegos leves e médios**. SÃO PAULO, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). **IP – 05 – Dimensionamento de pavimentos flexíveis tráfego meio pesado, pesado, muito pesado e faixa exclusiva de ônibus**. SÃO PAULO, 2004.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e a Logística Internacional**. São Paulo. Aduaneira, 2000.

SÍNTESE das Estatísticas Municipais do Estado do Pará. Relatório Técnico. Secretaria de Estado de planejamento, Orçamento e Finanças – SEPOF, 2008.

SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. Latossolos: **Portal Embrapa**. 08 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em: 10 out. 2023.

SOUZA, M. L. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis, 1981**. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/publicacoes>. Acesso em: 02 maio 2023.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S; CINCERRE, J.R; SERRA, P. R. M.; NETO, A. Z. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.

YAZBEK, J. A. C. **PMO: Estudo de aplicação para empresas construtoras de obras de infraestrutura**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001485758>. Acesso em: 05 abr. 2023.