



ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DNIT E MEDINA

COMPARATIVE ANALYSIS OF DNIT AND MEDINA PAVEMENT DESIGN METHODS

Antônio Sérgio Martins SILVA

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC)

E-mail: antoniosergiomarbri@outlook.com

ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-7505-7447>

João Pedro Rodrigues HENRIQUE

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC)

E-mail: joaohentov2@hotmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-3454-3803>

Indira Queiroz Macambira BEZERRA

Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC)

E-mail: indira.bezerra@unitpac.edu.br

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2492-8909>

RESUMO

O crescimento das cidades frequentemente está ligado ao planejamento urbano, especialmente ao sistema de transporte que conecta diferentes áreas. A mobilidade urbana é crucial para permitir que as pessoas se desloquem entre localidades com eficiência e segurança. Portanto, surge a necessidade de melhorar as estradas através da pavimentação, garantindo condições adequadas para o tráfego e a mobilidade. A qualidade das rodovias é fundamental para a infraestrutura nacional, facilitando o transporte de pessoas e mercadorias, o que contribui significativamente para o desenvolvimento econômico. De acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT) em 2023, as rodovias são responsáveis por movimentar a maioria das cargas (65%) e passageiros (95%) no país, apesar da maioria delas (67% da extensão) ser classificada como regular, ruim ou péssima em termos de conservação. Este estudo compara os métodos de dimensionamento de pavimentos rígidos e flexíveis, conhecidos como MeDiNa e DNIT, através de uma pesquisa bibliográfica que explora as práticas adotadas nos Estados Unidos, Japão e Brasil.

Palavras-chave: Pavimento. Transporte. Infraestrutura. DNIT. MeDiNa.

ABSTRACT

The growth of cities is often linked to urban planning, especially to the transportation system that connects different areas. Urban mobility is crucial to enable people to move between locations efficiently and safely. Therefore, there is a need to improve roads through pavement, ensuring adequate conditions for traffic and mobility. The quality of highways is essential for national infrastructure, facilitating the transportation of people and goods, which significantly contributes to economic development. According to the National Confederation of Transport (CNT) in 2023, highways are responsible for moving the majority of freight (65%) and passengers (95%) in the country, despite most of them (67% of the total length) being classified as regular, poor, or very poor in terms of maintenance. This study compares the rigid and flexible pavement design methods, known as MeDiNa and DNIT, through a literature review exploring practices adopted in the United States, Japan, and Brazil.

Keywords: Pavements. Transport. Infrastructure. DNIT. MeDiNa.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades está muitas vezes associado ao seu planejamento, sobretudo ao seu sistema de transporte para acesso as diversas regiões. A mobilidade urbana é fundamental para que o usuário consiga trafegar de uma localidade a outra, com fluidez e segurança. Neste contexto, torna-se necessário a pavimentação das rodovias, garantindo condições adequadas de tráfego, segurança e mobilidade.

Segundo Gouveia (2018) os avanços no transporte terrestre ocorreram especialmente após a invenção do sistema de rodas, na antiga Mesopotâmia 3000 a. C. Condições essas que favoreceram o aumento do número de veículos e, por consequência, a necessidade de se ter uma superfície adequada para garantir a rolagem dos veículos, surgindo assim as estradas fornecendo aparato para um transporte mais eficaz.

Consoante ao pensamento de Gouveia (2018), é evidente a importância do desenvolvimento de uma infraestrutura de transporte adequada, sendo esse o alicerce

para a expansão das cidades. Viana (2007, apud, Gouveia, 2018), destaca que os países que são desenvolvidos, não o são por ter uma infraestrutura de transporte adequado, mas sim por cuidarem adequadamente do que possui, com a finalidade de garantir aos seus usuários comodidade e mobilidade.

Neste sentido, observa-se que a infraestrutura de transporte é fundamental para garantir que os usuários consigam trafegar de uma localidade a outra. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT (2006) define pavimento como sendo uma superestrutura formada por diversas camadas de espessuras finitas, justapostas em um semiespaço dado teoricamente como sendo infinito, isto é, a infraestrutura ou terreno de fundação, denominado também como subleito.

O pavimento é essencial para a infraestrutura rodoviária de qualquer nação, esse que contribui efetivamente para o desenvolvimento econômico, por proporcionar o deslocamento tanto de pessoas quanto de mercadorias. Segundo o Confederação Nacional de Transportes – CNT (2023) o sistema de transporte rodoviário é responsável por deslocar 65% das cargas e 95% dos passageiros no Brasil, embora a qualidade das rodovias seja classificada de uma forma geral em conservação, como sendo regular, ruim ou péssimo em sua maioria – 67% da extensão.

Por outro lado, em estudo publicado pela CNT (2017), demonstrou que o Brasil apresenta um método de dimensionamento rudimentar, com defasagem histórica de 40 anos comparada aos países como EUA, Japão e Portugal. Visto que no país é empregado o Método do DNER, que determina a espessura das camadas para resistir, transmitir e distribuir as pressões resultantes da ação do tráfego, sem que haja situações adversas que comprometam a sua funcionalidade e sem considerar as diversas variações climáticas dentro do país, principal agente de degradação do pavimento.

No dimensionamento utilizado no Brasil, há dois tipos de pavimentos empregados, sendo o flexível, constituído em sua maioria de asfalto e, o rígido caso em que é empregado a utilização do concreto, sendo que no Brasil, 99% são caracterizados como flexíveis (Cnt, 2017). Além disso, os pavimentos dimensionados como flexíveis são perspectivados para ter uma vida útil de 8 a 12 anos, caso haja adequada

manutenção, enquanto nos EUA e Portugal são projetados para 25 e 20 anos, respectivamente.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Realizar análise comparativa entre os métodos de dimensionamento MeDiNa e DNIT.

Objetivos Específicos

- Descrever os procedimentos técnicos e metodológicos empregados no dimensionamento de pavimentos rígidos e flexíveis no Brasil;
- Realizar análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de pavimentos no Brasil, Japão e EUA.
- Descrever as atividades interferentes erguidas nos dimensionamentos efetuados no Brasil.

REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte – DNIT (2006), os pavimentos são classificados de forma geral em três categoriais – flexível, rígido e semirrígido, sendo predominante nas vias brasileiras o uso do pavimento flexível. Na classificação dada, os flexíveis são aqueles em que as camadas sofrem deformações elástica significativa devido ao carregamento aplicado, onde são distribuídas uniformemente ao longo da seção transversal.

Enquanto o semirrígido é aquele em que há uma base cimentada por meio de algum tipo de aglutinante que visa conferi-lo propriedades cimentícias, melhorando sua capacidade de suporte. Por fim, tem-se os pavimentos ditos como rígidos, que são os que o revestimento possui elevada rigidez em relação às suas camadas inferiores, absorvendo quase que em totalidade as cargas advindas da ação do tráfego sobre a superfície de rolamento.

ELEMENTOS CONSTITUINTES DO PAVIMENTO

Subleito

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DNIT E MEDINA. Antônio Sérgio Martins SILVA; João Pedro Rodrigues HENRIQUE; Indira Queiroz Macambira BEZERRA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2024 – MÊS DE NOVEMBRO - Ed. 56. VOL. 02. Págs. 386-405. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

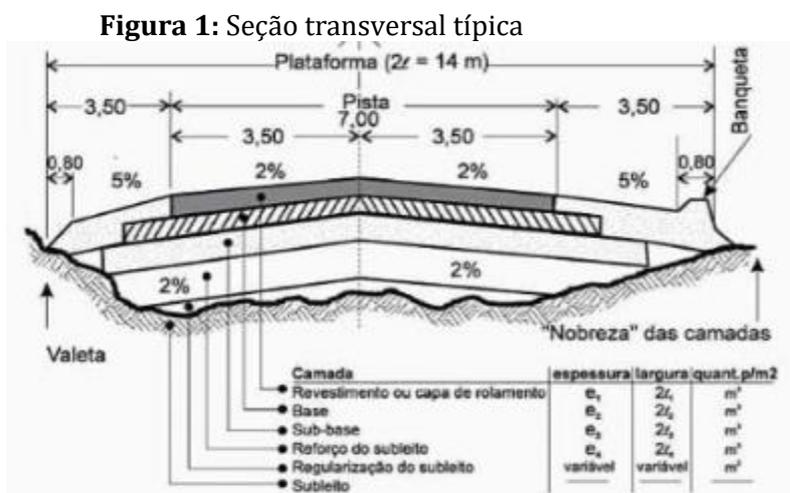
Segundo o DNIT (2006), o subleito representa a base do pavimento. A importância de realizar ensaios preliminares para entender as propriedades do terreno, como o Standard Penetration Test (SPT) e ensaios de caracterização do solo superficial, que ajudam a determinar parâmetros como CBR, limite de liquidez, índice de plasticidade, entre outros, essenciais para o projeto do pavimento (BORIN, 2021). De acordo com Biedacha (2020). No subleito, as cargas são distribuídas ao longo de sua profundidade, sendo absorvidas principalmente na sua camada superior, com a dispersão ocorrendo geralmente nos primeiros metros. Composto por material natural consolidado e compactado, é importante observar sua parte superior, especialmente em solos com resistência vertical limitada, onde pode ser necessária a construção de uma camada superior com solo de melhor qualidade.

Reforço de Subleito

O reforço de subleito é a camada que vem a ser utilizada para complementar a sub-base, embora comumente associada como auxílio para o terreno de fundação, aliviando as pressões que são descarregadas sobre esse (BORIN, 2021). O manual do DNIT (2006) denomina essa camada como sendo granular, executada posteriormente a compactação e a regularização da camada anterior – subleito.

Base e Sub-Base

Segundo Senço (2001, apud BORIN, 2021) o pavimento é composto por camadas, cuja seção transversal pode ser exemplificada na Figura 1.



Fonte: Senço, 2001, apud Borin, 2021.

Borin (2021) aborda que a base é camada responsável por absorver os esforços verticais e distribuí-los para as camadas adjacentes. Biedacha (2020) explana que a camada de base tem como função primordial a de aliviar as pressões das camadas subjacentes do solo, além de ser responsável pela drenagem subsuperficial do pavimento, também ficando a cargo de distribuir as pressões de maneira próxima a uniforme.

O DNIT (2006) classifica as bases e as sub-bases de acordo com o exemplificado na Tabela 1, podendo ser granulares ou estabilizadas com uso de aditivos.

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

	Granulares	Estabilização granulométrica	Solo brita Brita graduada Brita corrida
		Macadame hidráulico	
Base e sub-bases flexíveis e semirrígidas		Com cimento	Solo cimento Solo melhorado com cimento
		Estabilizadas (com aditivos)	Com cal
			Solo-betume

Fonte: DNIT, p. 96, 2006, adaptado.

A sub-base de acordo com Borin (2021) são aquelas que tem como função complementar à base, quando, devido a fatores tanto econômicos, quanto técnicos não é possível a execução de uma camada de base muito extensa.

Revestimento

De acordo com o DNIT (2006) o revestimento é a camada mais nobre de toda a pavimentação, estando em contato direto com os veículos que trafegam sobre a sua superfície.

Os revestimentos podem ser classificados em diversos tipos, sendo-os – Tabela 2.

Tabela 2: Tipos de revestimento.

		Por penetração	Tratamento superficiais betuminosos	
		Macadame betuminosos		
Revestimeto flexíveis	Betuminosos	Por mistura	Na usina	Pré-misturado de graduação tipo aberta
				Pré-misturado de graduação densa
		Alvenaria poliédrica		Areia betume
		Por calçamento	Paralelepípedos	Concreto
				Pedra
Pavimento rígidos	Concreto cimento			Betume
	Macadame cimentado			Cerâmica
				Areia
				<i>Sheet-asphalt</i>

Fonte: DNIT, 2006, adaptado.

MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Método DNER

De acordo com Borin (2021) dimensionar um pavimento, consiste basicamente em determinar as espessuras das camadas que o constituem, tal como reforço de subleito, sub-base – quando necessária, base e o revestimento, de forma que essas resistam as solicitações que os serão impostas, transmitindo as pressões de uma a camada adjacente.

A determinação das espessuras dos pavimentos no Brasil estava calcada sobre um estudo realizado por W. J. Turnbull, C. R. Foster e R. G. Ahlvin, do corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U., denominado de “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*”, no qual era feito valia para dimensionar os pavimentos flexíveis dentro da Federação pelo antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (Dnit, 2006).

De acordo com o método DNER, para os materiais empregados são utilizados coeficientes de equivalência estrutural, tomando por base os resultados obtidos pela

Associação Americana de Oficiais de Estradas Estaduais e Transportes – AASHTO, havendo modificações quando necessário. Sendo amplamente empregado o ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC, para análise das condições de suporte do subleito, de modo que nenhuma das camadas tenham grau de compactação menor que 100% do que fora especificado nas condições gerais (Dnit, 2006).

Borin (2021) aborda que as condições de suporte das camadas constituintes são determinadas pelo ISC/CBR, fazendo valia de corpos de prova indeformados ou moldados em laboratório para verificar a massa específica e umidade do solo. De tal forma que os materiais empregados para o subleito devem apresentar expansão $\leq 2\%$, enquanto o reforço do subleito deve possuir CBR maior que do subleito e expansão $\leq 1\%$, a sub-base CBR $\geq 20\%$, I.G. = 0 e expansão $\leq 1\%$ e por fim a base deve apresentar CBR $\geq 80\%$, expansão $\leq 0,5\%$, Limite de liquidez $\leq 25\%$ e Índice de plasticidade $\leq 6\%$, havendo ainda a possibilidade de ser empregado na base CBR $\geq 60\%$ para número de repetições de eixo padrão igual a $N \leq 5.10^6$.

Diante dessas constatações, prossegue-se ao dimensionamento das espessuras das camadas que constituirão o pavimento, correlacionando os coeficientes estruturais de cada material empiricamente a uma brita padrão com coeficiente estrutural $K = 1$. Dessa maneira, especifica-se o tipo de revestimento a ser adotado com base no número de repetições de eixo padrão – N que fora empregado em projeto, sendo-os indicado na Tabela 3 e Tabela 4 do Manual de Pavimentação do DNIT.

Tabela 3: 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	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento 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, p. 146.

Tabela 4: Espessura mínima de revestimento betuminoso.

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

Fonte: DNIT, 2006, p. 147.

Diante dos coeficientes indicados nas figuras supra, determina-se a espessura das camadas com base nas seguintes inequações 1, 2 e 3 e em consideração ao valor do CBR obtido em ensaio, encontrando valores teóricos no gráfico apresentado na Figura 2 (DNIT, 2006).

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

$$RK_R + BK_B + h_{20} \geq H_n$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_s + h_nK_{ref} \geq H_m$$

Onde:

R = revestimento;

KR = coeficiente de equivalência estrutural do revestimento;

B = base;

KB = coeficiente de equivalência estrutural da base;

H20 = altura acima da sub-base;

h20 = sub-base;

KSB = coeficiente de equivalência estrutural da sub-base;

Hn = altura acima do reforço do subleito;

hn = reforço do subleito;

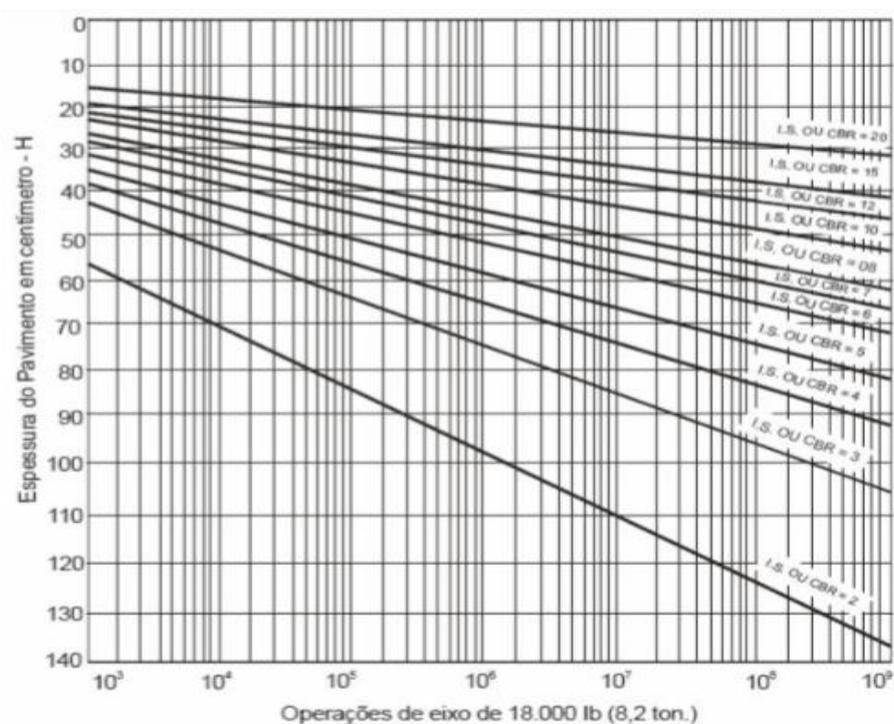
Kref = coeficiente de equivalência estrutural do subleito;

Hm = altura acima do subleito.

Posto a isso, tem-se determinado a espessura total do pavimento por intermédio da equação 1. Seguindo Borin (2021) e as especificações do manual do DNIT (2006), para fins de dimensionamento, o CBR da base seja igual a 20, mesmo que durante os ensaios realizados em laboratório deem valores superiores.

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

Figura 2: Ábaco de dimensionamento de pavimento flexível



Fonte: DNIT, 2006.

Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa

A sigla MeDiNa, dada ao Método de Dimensionamento Nacional é atribuída em homenagem ao professor Jacques de Medina, precursor dos estudos na mecânica dos pavimentos no curso de Engenharia Civil da COPPE, voltado as propriedades físico-químicas dos constituintes do pavimento (Manual de Ajuda do Método MeDiNa, 2023).

Segundo Silva e Santos (2021) no trabalho elaborado por Franco em 2007, no qual abordara o desenvolvimento de um método mecanístico-empírico para o dimensionamento de pavimentos asfáltico, utilizando de análise elástico-linear e

elástico não linear, cujos danos verificados foram estimados por modelos de previsão para fadiga, deformação permanente e máxima admissível para o topo do subleito.

O MeDiNa é um programa de computador desenvolvido na linguagem computacional Visual C++, que auxilia no processamento dos cálculos envolvidos no dimensionamento de pavimentos, levando em consideração o módulo de resiliência – MR dos materiais e assim como o preconizado pelo DNER também equaciona o CBR, além do coeficiente de Poisson, por intermédio da rotina denominada de AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas (Manual de Ajuda do Método MeDiNa, 2023).

Alves (2022) aborda que a modelagem seguindo o delineamento mecanístico-empírico busca a associação de parâmetros relacionados aos materiais que serão empregados a pavimentação, as condições ambientais da localidade onde será construído, bem como a solicitação de tráfego aplicada.

Na valia do *software* MeDiNa, seu manual recomenda um estudo minucioso a respeito do número de eixos – N a ser adotado, visto que há uma maior sensibilidade em relação a sua aplicação, sendo imprescindível uma análise mais apurada para o sucesso do projeto. Silva e Santos (2021) destaca a importância fundamental da determinação do número equivalente de eixos – N, para o correto funcionamento visto que pequenas variações podem acarretar determinações errôneas das dimensões das camadas do pavimento.

Silva e Santos (2021) apontam que no dimensionamento utilizando a metodologia mecanístico-empírico, são feitas correlações entre as duas principais patologias estruturais verificadas nos pavimentos brasileiros, que são: trancamentos de fadiga e afundamentos de trilho de roda.

METODOLOGIA

Este trabalho analisou dois estudos comparativos entre os métodos de dimensionamento de pavimentos DNER e MeDiNa, publicados por Biedacha (2020) e Santos (2022).

Para o estudo de Biedacha (2020), os resultados foram analisados a partir do ensaio feito nas proximidades do município de Itapejara D'Oeste - PR utilizando o método de dimensionamento de pavimento flexível com o pavimento destinado ao trânsito de cargas pesadas.

Já em Silva (2022) apresenta um projeto de implantação de um contorno rodoviário no município de Pato Branco, Paraná. A rodovia, categorizada como I-B e com um traçado de aproximadamente 15,84 km, terá início no entroncamento do contorno norte da BR-158 e se estenderá até a PR-473, com projeção de conexão ao município de Vitorino. O estudo caracteriza a região como de relevo ondulado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo realizado por Biedacha (2020) os cálculos foram considerados os valores obtidos do módulo de resiliência, deformação permanente, fadiga e CBR. Os valores obtidos por Biedacha (2020) estão descritos na Tabela 5, além desses dados, fora considerado pela autora fator de eixo (%) = 2,53, fator de carga = 4.12; N - USACE = 2.81e+07, TMD (2022) = 636 e TMD (2032) = 840 e CBR = 7.

Posto a isso, fora analisado o estudo realizado por Santos (2022) que analisou o processo de pavimentação da rodovia BR-158 até a PR-473, no município de Pato Branco - PR, a qual possui classificação I-B pelo DNER, além de apresentar relevo ondulado, no trecho analisado de 15,84km. Os dados característicos de projeto estão apresentados na Figura 3. O número N-USACE $8.2t = 4,84 \times 10^7$, sendo empregado revestimento asfáltico de duas camadas, sendo a primeira de CAUQ - Concreto Asfáltico Usinado Quente e CAUQ *Gap-graded*, além do emprego de uma pintura de ligação entre camada de base e revestimento.

Figura 3: Resumo das características dos dados de tráfego.

Dados de Tráfego	
Região:	Sul
Rodovia Classe:	I-B
Porte da obra:	Pequeno
Relevo:	Ondulado
Extensão:	15,84 km
Primeiro ano de projeto:	2021
Ano de abertura de tráfego	2024
Período de projeto	10 anos
VMDa	5036 veículos/dia
Taxa de crescimento anual	3,00%
Ponto de contagem	Candóia/PR
CBR	6,68%

Fonte: Santos, p. 63, 2022.

Para o dimensionamento no método MeDiNa, Santos (2022) considerou os seguintes dados, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4: Dados de tráfego.

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1370
FV:	1.000
N anual (1º ano):	5,00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	5,00e+05
Taxa de crescimento (%):	0,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	5,00e+06

Fonte: Santos, p.65, 2022.

No processo de dimensionamento dos pavimentos utilizando a metodologia do DNIT, Biedacha (2020) obteve os seguintes parâmetros para a efetuação dos cálculos de dimensionamento.

Tabela 5: Características dos materiais utilizados no dimensionamento.

Camada	Material	Módulo de Resiliência- MR (MPa)	Módulo de elasticidade- Poisson	Classe de Fadiga
Revestimento	Concreto Asfáltico Classe 03	8000	0,3	3
Base	Material Granular Brita Graduada (BGS) Gnaisse C5	381	0,365	-
Sub-base	Material Granular Brita Graduada (BGS) Gnaisse C1	259	0,35	-
Sub-base	Solo Cimento Cerrati (1991) mistura 4	Sigmoide*	0,25	-
Subleito	Solo Natural Resiliente Linear	728/1264	0,45	-

Fonte: Biedacha, p. 73, 2020.

Em questão, o referido autor utilizou três amostras de solo, obtendo expansão média para a amostra 1 de 0,0515%, amostra 2 de 0,025% e amostra 3 de 0,257%.

No ensaio realizado para verificação do Índice de Suporte – IS, encontrou-se os seguintes valores para as amostras utilizadas, no qual desprezaram os valores discrepantes em relação a média, para que não ocorresse desvio padrão elevado. Para a amostra 1 teve ISC = 10,44, IS_{ig} = 6,7 e IS_{CBR} = 8,57; amostra 2 teve ISC = 15,08, IS_{ig} = 6,0 e IS_{CBR} = 10,54 e por fim; amostra 3 teve ISC = 16,78, IS_{ig} = 6,2 e IS_{CBR} = 11,49.

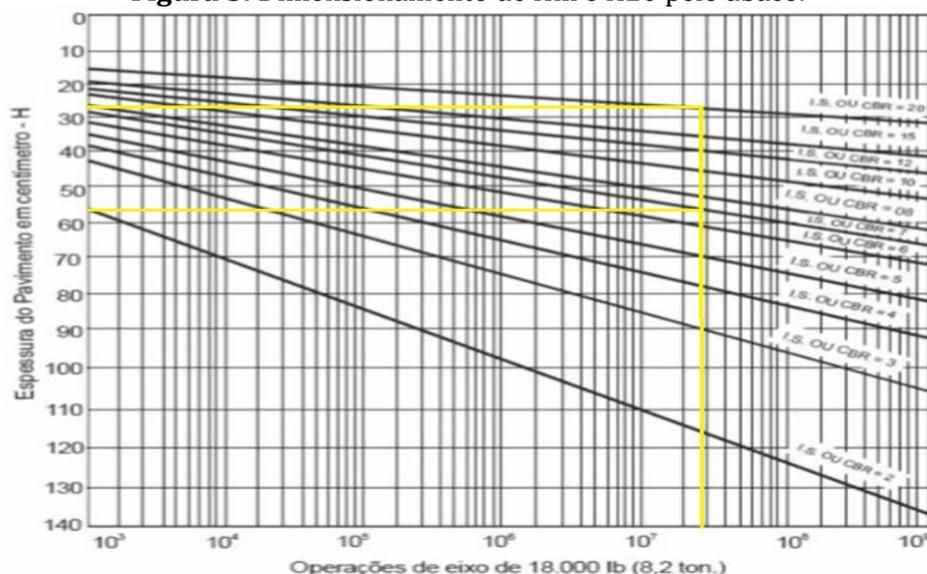
Logo, diante dos dados referentes aos Índice de Suporte do CBR, prosseguiu-se ao cálculo do IS_{min}, Senço (2007, p. 606, *apud* BIEDACHA, 2020, p. 16) afirma caso o número de determinações seja menor que nove, pode ser empregado de modo simplificado a seguinte equação para determinar o Índice de Suporte mínimo – equação 5.

$$IS_{\min} = \left(\frac{2}{3}\right) IS_{\text{médio}}$$

Assim, com base nos dados encontrados e utilizando a equação 4, prosseguiu-se ao cálculo, no qual obteve IS_{médio} = 10,2 e IS_{min} = 6,8. Portanto, adotou-se o valor de IS = 7%. O número de repetições de eixo padrão N para o período de projeto de 10 anos fora calculado em 2,81*10⁷ operações.

Com todos os dados pertinentes para o dimensionamento utilizando o método do DNER, prosseguiu-se a determinação da espessura do pavimento HM – espessura total, constando base, sub-base e reforço (DNIT, 2006). Adotando o valor de N = 2,81*10⁷ e IS = 7% e usando o ábaco da figura 5, no qual é necessário traçar uma linha vertical secante a reta inclinada do ábaco e posteriormente uma horizontal até o eixo da espessura – Figura 5.

Figura 5: Dimensionamento de Hm e H20 pelo ábaco.



Fonte: Autor, 2024.

Pelo ábaco, obteve $H_7 = 58 \text{ cm}$ e $H_{20} = 27 \text{ cm}$, os valores do coeficiente estrutural foram extraídos da Figura 3, sendo $k_{\text{revestimento}}=2$; $k_{\text{base granular}}=1$; $k_{\text{sub-base granular}}=1$ e; $k_{\text{sub-base solo cimento}}=1,7$. A espessura do revestimento será adotada como 10cm conforme a Tabela 10 do Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006, p. 72). Possuindo os dados necessários a determinação das espessuras, fez-se os cálculos conforme as inequações 1 a 3.

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

$$10 * 2 + B * 1 \geq 27$$

$$B \geq 7 \text{ cm}$$

No Manual de Pavimentos Flexíveis do DNIT, as bases compostas por materiais granulares não podem possuir espessura inferior a 15cm, assim adotando o valor estipulado. Posto a isso, dá-se seguimento a resolução das inequações.

$$RK_R + BK_B + h_{20} \geq H_n$$

$$10 * 2 + 15 * 1 + h_{20} * 1 \geq 58$$

$$h_{20} \geq 23 \text{ cm}$$

Dessa forma, concluiu-se o dimensionamento utilizando a metodologia do DNER, cujas dimensões das camadas constituintes resultaram em base de material granular com 15 cm de espessura, revestimento betuminoso com 10 cm de espessura e sub-base granular com 23 cm de espessura. Além disso, Biedacha (2020) efetuou novo dimensionamento, alterando as propriedades da sub-base, alterando-a para solo-cimento, resultando em variação de 8 cm na espessura da sub-base – 15 cm. Comparativamente, a autora efetuou os cálculos com auxílio do *software* MeDiNa, estando-os expressos na Tabela 6.

Tabela 6: Área trincada e Afundamento de trilha de roda em simulações no MeDiNa.

DIMENSIONAMENTO	REVESTIMENTO BETUMINOSO (CM)	BASE (CM) BG - CS	SUB BASE (CM)	ESPESURA TOTAL (CM)	SUBLEITO MR 728 (MPA)	SUBLEITO MR 1264 (MPA)	ÁREA TRINCADA (%)	AFUNDAMENTO TRILHA DE RODA - ATR (MM)
1	10	15	23 BG - C1	48	x		99	7,1
	15			53	x		29,1	5,4
	10			48		x	99	7,3
	14,6			52,6		x	28,8	5,7
2	10	15	15 Solo - Cimento	40	x		75,5	4,6
	12,4			42,4	x		28,6	4,1
	10			40		x	63,8	4,9
	11,9			41,9		x	28,3	4,5

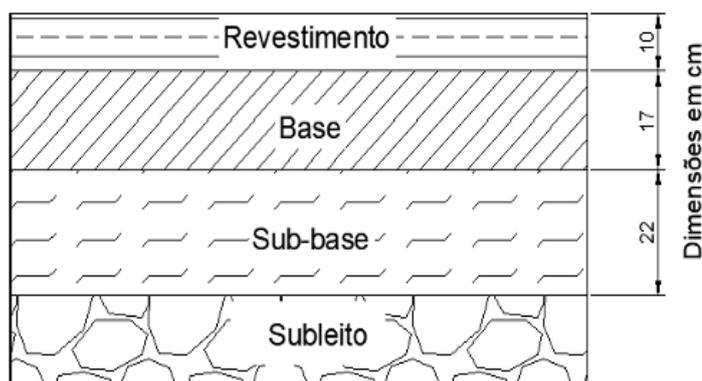
Fonte: Biedacha, 2020, p. 88.

Nota-se que o dimensionamento efetuado no MeDiNa, leva em consideração as características dos materiais empregados. Na simulação dentro do MeDiNa com os valores obtidos pelo Método do DNER – considera a proteção do subleito à ruptura, Biedacha (2020) afirma que logo nos primeiros anos de utilização do pavimento esse apresentaria área de trincamento com valores superiores a 30%, fato que condicionaria ao desenvolvimento de outras patologias.

Além disso, pondera que ao final do período de projeto, o pavimento não teria condições suporte, necessitando a efetuação de tratamento nas camadas. Em ambos casos, BG – brita graduada e solo-cimento, o método DNER mostrou-se inviável, pois ao aumentar a espessura da BG, aumentaria concomitantemente o afundamento de trilho de roda e conseqüentemente o trincamento da área, pois resultaria em maiores deflexões, tornando não somente oneroso, mais suscetíveis a defeitos. Quando efetuado simulação com de sub-base com solo-cimento, teve-se um melhor comportamento ao longo do tempo, comparando ao uso racional na quantidade de materiais necessárias.

Utilizando a metodologia do DNER, Santos (2022) obteve para o revestimento composto de CBUQ espessura de 10,00cm, para a base em BG espessura de 17,00cm e para a sub-base em macadame seco espessura de 22,00cm, resultando em espessura total do pavimento $H_t = 49,00$ cm, sendo ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Camadas do pavimento.



Fonte: Santos, p. 73, 2022.

Os dados encontrados pela metodologia do DNER, foram inseridos no *software* MeDiNa, cuja análise efetuada por esse, resultou em um nível de confiabilidade de análise de 75%, área trincada estimada ao fim do período de projeto de 99,0% e ATR de 4,9mm. Dessa forma, constata-se que o pavimento apresentou ruptura das camadas antes do término estipulado, visto que o MeDiNa tem como critério de parada da análise de 30% de área máxima trincada.

Além do mais, explana que o método DNER foi ineficaz em preservar e conservar a estrutura do pavimento em relação aos efeitos provocados por fadiga. No entanto,

apresentou aspectos satisfatórios quanto a proteção do subleito à deformação plástica, apresentando ATR inferior ao máximo estipulado dentro do MeDiNa.

Pela utilização do *software* MeDiNa, Santos (2022) utilizou como base brita graduada tratada com cimento, revestimento com duas camadas de 5cm e sub-base de 22cm, composta por brita graduada simples. Composição essa que resultou em um MR sigmoidal para a camada BGTC, sendo, portanto, substituído por um mais rígido e refeito a análise. Dessa maneira o programa informou após período de projeto seria identificado ATR de 2,0mm e área trincada de 29,6%, atendendo aos critérios pré-estabelecidos do programa.

Pondera-se que o programa informa que não efetua cálculo de área trincada quando há utilização de bases estabilizadas, haja vista que em caso daquelas tratadas com cimento, esse devido sua cura apresenta retração e conseqüentemente leva a formação de microfissuras e trincas, que podem ser refletidas para o revestimento asfáltico, embora haja ganho de vida útil do pavimento (Santos, 2022).

Comparativamente nas análises efetuadas tanto por Biedacha *et al.* (2020) e Santos (2022), observou-se que o dimensionamento das camadas constituintes do pavimento pelo método DNER, leva em consideração a apenas a proteção do subleito a deformações plásticas evitando a ruptura. No entanto, quando essas análises são transcritas para o programa MeDiNa, que utiliza o método mecanístico-empírico, tem-se que nenhuma das estruturas resiste ao período de projeto estipulado – 10 anos, chegando ao fim com nenhuma capacidade de suporte e área trincada superior aos 90%, embora o ART esteja dentro do permitido, refletindo ao modelo tradicional de dimensionamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando a análise comparativa efetuada entre os métodos DNER e MeDiNa, a respeito dos processos de dimensionamento de pavimentos no Brasil, ver-se que o modelo tradicional, apesar de ser amplamente empregado, tem uma defasagem considerável, comparada as metodologias recentes empregadas em países como EUA, Japão e Portugal. A defasagem oriunda do emprego do método nacional está ligada à necessidade de uma atualização no processo de dimensionamento, que vise maior durabilidade do pavimento e eficiência de toda estrutura viária.

A utilização do MeDiNa, como modelo mecanístico-empírico, mostra sê-lo uma alternativa promissora no avanço na engenharia rodoviária no Brasil, pois pode suprir as lacunas existentes dentro do modelo tradicional, possibilitando o controle dos materiais levando em consideração as características desses e os esforços solicitantes sobre a superfícies de rolamento e as condições de tráfego.

Além do mais, no presente estudo, viu-se a precisão do MeDiNa em relação ao método do DNER, uma vez que naquele há consideração a respeito do módulo de resiliência do material e fadiga, parâmetros fundamentais para determinar a vida útil do pavimento e a sua longevidade. No mais, é crucial a modernização das técnicas de dimensionamento no Brasil, para que seja possível garantir uma estrutura viária com maior qualidade, segurança, durabilidade e econômica.

REFERÊNCIAS

ALVES, Beatriz Moraes. Comparativo entre os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis DNIT e MeDiNa. Anápolis: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Goiás. 2022. 69p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil e Mobilidade). **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Goiás**. Anápolis. Disponível em: < <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/1355>>. Acesso em: 06 mai. 2024

BIEDACHA, Marina Myszak. Dimensionamento de pavimento asfáltico pelo método DNER e comparativo com o atual método mecanístico-empírico MeDiNA. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020. 132p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. Disponível em: < <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/27496>>. Acesso em: 06 mai. 2024.

BORIN, Marcus Vinícius. Estudo comparativo de custos entre pavimentos rígidos, flexíveis e semirrígidos. Caxias do Sul: Centro Universitário da Serra Gaúcha, 2021. 84p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Centro Universitário da Serra Gaúcha, Caxias do Sul. Disponível em: < <https://repositorio.fass.edu.br/jspui/handle/123456789/4654> >. Acesso em: 06 mai. 2024.

BRASIL. **Manual de ajuda do programa MeDiNa** – Versão 1.1.7. 2023. Disponível em: < <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/medina/medina-1-1-7/ajuda-do-medina-1-1-7.pdf>>. Acesso em: 06 mai. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2023 reforça a importância de maior investimento na malha rodoviária. 2023. Disponível

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DNIT E MEDINA. Antônio Sérgio Martins SILVA; João Pedro Rodrigues HENRIQUE; Indira Queiroz Macambira BEZERRA. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. ISSN: 2526-4281 - FLUXO CONTÍNUO. 2024 - MÊS DE NOVEMBRO - Ed. 56. VOL. 02. Págs. 386-405. <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

em: < <https://cnt.org.br/agencia-cnt/pesquisa-cnt-de-rodovias-2023-refora-a-importancia-de-maior-investimento-na-malha-rodoviria>>. Acesso em: 06 mai. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação. 3^a. ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p. 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: 06 mai. 2024.

GOUVEIA, Jacyara Fidelis Moura. **Análise comparativa de sistemas de pavimentação rígida e flexível em vias urbanas**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2018. 46p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Disponível em:< <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/47907>>. Acesso em: 06 mai. 2024.

SANTOS, Thiago Ferreira dos. **Comparações dos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis: DNER (1981) e MEDINA**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2022. 146p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Disponível em: <Comparações dos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis: DNER (1981) e MEDINA>. Acesso em: 01 nov. 2024.

SILVA, Larissa Macário.; SANTOS, Rafaella Oliveira Guimarães. Estudo comparativo: método empírico do DNIT e mecanístico-empírico (Medina) no dimensionamento de pavimentos flexíveis. **Engineering Sciences**, v.9, n.1, p.114-124, 2021. Disponível em:< <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0012>>. Acesso em: 06 mai. 2024