

Dimensionamento Comparativo de Pavimento com emprego dos Métodos Mecanicista e MeDiNa num trecho da BR-101/SC

Rafaela Costa Abreu

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, abreu.rafaela07@gmail.com

Fábio Krueger da Silva

Docente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fabio.krueger@ifsc.edu.br

Fernanda Simoni Schuch

Docente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fernandass@ifsc.edu.br

Ana Karolyna Silveira da Silva

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, anajovitta@gmail.com

RESUMO: No Brasil, o modal rodoviário é o responsável pela maioria dos deslocamentos sendo a alternativa mais usada para a movimentação de pessoas e cargas. A maior parte da produção brasileira é escoada por este modal sendo o maior colaborador no desenvolvimento socioeconômico nacional e, conseqüentemente, provocando um grande volume de veículos trafegando diariamente nas rodovias. Este aspecto é um dos fatores que causam o desgaste excessivo e a redução da vida útil dos pavimentos. Além disso, há outros fatores que influenciam na qualidade, conforto, segurança e longevidade dos pavimentos flexíveis. O método de dimensionamento e os materiais empregados refletem diretamente no comportamento estrutural e na vida útil dos pavimentos. Cada método de dimensionamento de pavimentos procura prever e adequar a estrutura à realidade das cargas envolvidas e, deve considerar também o crescimento futuro do tráfego no período de projeto. A partir disso, comparou-se o projeto estrutural das camadas de um pavimento construído na BR-101/SC, ora dimensionado pelo método do DNER-81, com os resultados obtidos com emprego das análises mecanicistas do ELSYM e do mais recente método MeDiNa. Ao final, comparando-se as espessuras das novas camadas obtidas por cada método conclui-se que não houve alteração das camadas granulares usadas na base e sub-base. Contudo, no dimensionamento do revestimento asfáltico feito pelo MeDiNa para atender aos requisitos seria necessária uma camada com 10,5cm mais espessa que a obtida pelo método do DNER e, nas análises das tensões feitas pelo Elsym seria necessária uma espessura adicional de 7,5cm. Ou seja, os métodos de dimensionamento empregados demonstram que as considerações feitas pelo método do DNER, principalmente no que se refere a camada asfáltica, estão defasados quando se empregam técnicas de análises de tensões e deformações nas camadas do pavimento.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentos, Dimensionamento, Método Mecanicista-empírico

ABSTRACT: In Brazil, road transport is responsible for the majority of journeys and is the most widely used alternative for moving people and cargo. Most of Brazil's production is transported by road, which is the biggest contributor to the country's socio-economic development and, consequently, causes a large volume of vehicles to travel on the roads every day. This is one of the factors causing excessive wear and tear and reducing the useful life of sidewalks. There are also other factors that influence the quality, comfort, safety and longevity of flexible sidewalks. The design method and the materials used have a direct impact on the structural behavior and service life of sidewalks. Each sidewalk design method seeks to predict and adapt the structure to the reality of the loads involved and must also take into account future traffic growth during the design period. With this in mind, we compared the structural design of the layers of a sidewalk built on the BR-101/SC, now designed using the DNER-81 method, with the results obtained using the mechanistic analyses of ELSYM and the Medina method. In the end, by comparing the thicknesses of the new layers obtained by each method, it was concluded that there had been no change in the granular layers used in the base and sub-base. However, Medina's sizing of the asphalt surfacing would require a layer 10.5cm thicker than that obtained by the DNER method, and Elsym's stress analysis would require an additional thickness of 7.5cm. In other words, the design

methods used show that the considerations made by the DNER method, especially with regard to the asphalt layer, are not taken into account when using stress and strain analysis techniques on sidewalk layers.

KEYWORDS: Paviments; Design; Mechanistic-Empirical Method

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o modal rodoviário é a alternativa para movimentação de cargas e pessoas mais utilizada, tornando este transporte o maior colaborador do desenvolvimento socioeconômico nacional. De acordo com o Anuário CNT do Transporte 2022, a frota de veículos no Brasil, em 2022, chegou a mais de 119 milhões de veículos.

Em razão da má qualidade da infraestrutura dos pavimentos no país geram prejuízos na ordem de bilhões de reais todos os anos (CNT, 2022). Pode-se atribuir esses gastos às falhas no projeto, construção, uso e manutenção. A vista disso, ocorre um baixo desempenho do pavimento em cumprir sua principal função que é garantir ao usuário condições de trafegabilidade de forma confortável. Além disso, pavimentos em más condições elevam o tempo de viagem e o consumo de combustível dos veículos, podendo refletir em um aumento do custo de transporte. Observando um maior grau importância do modal, as metodologias brasileiras de dimensionamento encontram-se obsoletos, o dimensionamento do pavimento das rodovias apresenta uma defasagem média de 40 anos em relação a países como Estados Unidos, Japão e Portugal (MEDINA & MOTTA, 2017, BALBO, 2007).

O método de dimensionamento mais utilizado no Brasil, segundo o DNIT, é o proposto pelo Eng. Murilo Lopes de Souza na década de 1960, direcionado aos pavimentos flexíveis, popularmente conhecido como Método do DNER, que consiste em uma metodologia empírica, responsável pelo dimensionamento de grande parte das rodovias pavimentadas brasileiras (PITANGUI, 2019).

Nessas circunstâncias, o DNIT em conjunto com o IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias e da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro desenvolveram o software do novo Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa que possibilita a usuário realizar análises e dimensionamentos de pavimentos por meio da análise elástica de múltiplas camadas (AEMC). Este método avalia a rigidez das camadas, a fadiga para revestimentos asfálticos e a deformação permanente para camadas granulares e solos, através da análise do módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson - BIEDACHA (2020).

Em virtude disso, buscou-se entender as principais diferenças que o novo método apresenta, quando comparado à análise mecanicista e o método empírico. Para isso, primeiramente, realizou-se o dimensionamento pelo método DNER-81. Após, foi realizada a análise mecanicista através do software Elsym-5, que elabora os cálculos das tensões e deformações que ocorrem em cada camada do pavimento. Por fim, foi realizado o dimensionamento mecanístico-empírico através do software MeDiNa, com o intuito de entender se as espessuras das camadas dos pavimentos atendem as solicitações do tráfego. A partir disso, elaborou-se uma pesquisa exploratória onde foi testado três metodologias para dimensionamento adequado frente as condições impostas pelo tráfego.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa de um pavimento flexível, dimensionado pelo método empírico do DNER- 81, outro realizando uma análise mecanicista com o software ELSYM-5 e outro através do Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), em uma estrutura de pavimento de um trecho da BR-101 no município de São José/SC. Ainda, busca-se compreender os critérios de dimensionamento de pavimentos flexíveis pelos métodos DNER-81 com auxílio do Elsym-5 e MeDiNa. Após, dimensionar o pavimento pelo método DNER-81, realizar uma análise mecanicista e MeDiNa e por fim, analisar as principais causas da diferença entre os dimensionamentos, se houver.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Método Empírico para dimensionamento (DNER/81)

O método DNER – 1981, segundo DNIT, consiste em determinar as espessuras das camadas, e também, os tipos de materiais que serão utilizados, a fim de construir uma estrutura capaz de suportar um determinado

volume de tráfego pré-estabelecidos em estudos de tráfego. Esse manual foi elaborado pelo Engenheiro Murilo Lopes de Souza, com a primeira publicação de 1960. Murilo tomou como base o Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic, desenvolvido pela USACE (DNIT 2006).

DNIT (2006) propõe que o dimensionamento de um pavimento é elaborado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período do projeto escolhido. Em outras palavras, o volume total de veículos que trafegam em uma rodovia independe do tipo de veículo, pois esse montante é convertido em um único número equivalente ao eixo padrão de 8,2 toneladas (PINTO & PREUSSLER, 2022).

2.2 Método Mecanicista Empírico (MeDiNa + Elsym-5)

O programa ELSYM-5 (Elastic Layered System Computer Program), baseia-se em fundamentos da teoria de elasticidade de Burmister 1943 e aplicando conceitos de diferenças finitas. A aplicação dos programas de análise de múltiplas camadas elásticas, requer a definição dos seguintes parâmetros: área de contato pneu pavimento, pressão do pneu, carga o eixo padrão, coeficiente de poisson dos materiais e módulo de elasticidade (FERNANDES, 2000).

Já o Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos-MeDiNa, segundo o IPR (2018), é produto de uma pesquisa desenvolvida entre 2015 e 2018 pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE com a colaboração do Centro de Pesquisas da Petrobrás - CENPES e de diversas Universidades do Brasil, apud Silva (2018).

Atualmente, já vigente pelo DNIT, o método MeDiNa baseia-se na análise elástica de múltiplas camadas (AEMEC), que é a base de dados onde são determinadas as tensões, deformações e deslocamentos da estrutura para o software processar o dimensionamento. Dessa maneira, é possível avaliar os danos causados pelas cargas do tráfego em todas as suas camadas constituintes. Esses danos são representados pela área de trincamento na superfície do revestimento e afundamentos de trilha de roda em cada camada subjacente. Esse método gera um relatório desses danos progressivamente, ano a ano, durante todo o período de projeto.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi realizada a partir da consulta e da análise dos projetos e memoriais descritivos elaborados na execução da terceira faixa da Rodovia Mário Covas BR-101 (na região metropolitana de Florianópolis), com o objetivo de compilar dados com o intuito de elaborar um novo dimensionamento do pavimento através da metodologia mecanicista e pelo MeDiNa. Maiores informações desta obra podem ser consultadas em Abreu (2022).

3.1 Local de Pesquisa

A presente pesquisa teve como base o memorial do projeto e o dimensionamento das estruturas de restauração do pavimento dos acostamentos existentes da Pista Norte da Rodovia BR-101/SC (Rodovia Governador Mario Covas), uma rodovia sob concessão da empresa Arteris, entre os municípios de Palhoça e São José/SC. Para a elaboração desse trabalho foi selecionado um trecho de conformação geométrica de agulhas de integração (alças de acesso à rodovia) no Km 204 da BR-101. Neste local foi executada a demolição do pavimento existente e a implantação de uma nova pavimentação.

3.2 Estudo de Tráfego

O número de solicitações que serão aplicadas no pavimento é caracterizado pelo número “N” que é o equivalente ao número de repetições do eixo simples padrão de 8,2t para um período de projeto, que nesse caso foi de 10 anos. Vale ressaltar que, a porcentagem de veículos na faixa mais solicitada para o cálculo dos números “N” foi de 100%, a taxa de crescimento anual de tráfego foi de 3%, fator de veículo 8,2 e o fator climático regional 1. Por fim, o número N de solicitações adotado para esse trecho foi de $9,82 \times 10^6$.

3.3 Dimensionamentos conduzidos na pesquisa

Para definição estrutural das camadas, primeiramente, foi realizado um pré dimensionamento do pavimento utilizando a metodologia do DNER-81. Após isso, a estrutura obtida através da metodologia do Eng. Murilo foi imputada no software Elsym-5, afim de realizar uma análise mecanicista das camadas do pavimento e, atestar se elas atendiam ou não ao numero N. Posteriormente, foram elencadas mais quatro hipóteses de estruturas de pavimento, e testadas no software Elsym-5, com o intuito de especificar a estrutura que melhor atendesse o número N de projeto. E por fim, todas as estruturas anteriores foram inseridas no MeDiNa, para analisar qual tipo de pavimento atenderia melhor aos critérios de aceitação considerados pelo programa. Para a elaboração da pesquisa, algumas propriedades geomecânicas dos materiais foram extraídas de bibliografias. Isso permitiu utilizar os mesmos módulos para todas as metodologias analisadas possibilitando comparar os resultados, mesmo que *in situ*, muitas vezes as propriedades sejam diferentes daquelas obtidas em laboratório.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Primeiramente, foi executado o dimensionamento do trecho da Km 204+000 seguindo as premissas do método DNER-1981, arbitrando um concreto asfáltico como material para o compor o revestimento do pavimento e, materiais granulares para base e sub-base. Dessa forma, resultou em um pavimento com revestimento de 7,5 cm, base de 15 cm e sub-base de 44 cm mostrado na Tabela 1:

Tabela 1. Dimensionamento DNER - 81

Início (km)	Término (km)	EXTENSÃO (m)	ISC SUBLEITO	ISC SUB-BASE	N (USACE)	Hn (cm)	Revestimento (cm)	Base (cm) (Calculado)	Base (cm) (Adotado)	Sub-base (cm) (Calculado)	Sub-base (cm) (Adotado)	Ht Efetivo Adotado (cm)
0+0,000	0+200,000	200,0	4,0	20	9,82E+06	74,0	7,5	15,0	15,0	44,0	44,0	63,5

Fonte: Autora

Na Tabela 1 são indicados a extensão do trecho, os valores de CBR da base e sub-base, o N adotado e as respectivas espessuras construtivas das camadas estruturais do referido pavimento. Após o dimensionamento pelo método DNER-81, foram imputadas as camadas resultantes desse método no software Elsym-5 para a análise das tensões. As tensões foram analisadas nos pontos $x(0,0)$ e $(0,0)$ e $x(16,0)$ e $(0,0)$, que é no centro do eixo padrão, e as posições de z em $(0,0)$ – topo do pavimento, $(7,5, 0)$ – embaixo da fibra do revestimento e $(66,5, 0)$ – subleito. Dessa forma, foram analisadas todas as tensões geradas e selecionadas os maiores valores obtidos em cada camada do pavimento. Adotando uma espessura de revestimento de 7,5cm, obteve-se as respectivas deflexões (δ), tensões de tração (e_t) e tensão de serviço (σ_s) mostrada na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados obtidos com o Elsym-5

Tipo do revestimento	Revestimento	δ ($\times 10^{-2}$ mm)	e_t (cm/cm)	σ_s (kgf/cm ²)
Convencional	7,5	45,9	2,08E-04	0,182

Fonte: Autora

A partir disso, foram inseridas as tensões e deformações geradas pelo Elsym-5 em curvas de fadiga para análise das tensões no topo do pavimento - USACE, na friba inferior do pavimento - Brown (1977) e Pinto (1991) e no subleito – Klomp (1962) apud Marcaccini, 2009, p.111, com o objetivo de verificar o número N_{adm} para a espessura do pavimento proposta e por fim, comparar com o número N_{adm} de projeto. Na Tabela 3 são apresentados o N admissíveis obtidos para cada modelo de fadiga.

Tabela 3. Análise tensões para $N_{adm} - 7,5 \text{ cm}$

N projeto = 9,82+06		
Espessura do Revestimento (cm)		
7,5		
Parâmetros	Modelo	Nadm
e_t	Brown (1977)	9,79E+05
	Pinto (1991)	7,86E+06
δ	USACE	8,04E+07
$\Sigma_{subleito}$	Klomp (1962)	9,64E+29

Fonte: Autora

Foram aplicadas nas curvas de fadiga de Brown (1977) e Pinto (1991), para as tensões de tração na fibra inferior do pavimento que resultaram em um $N_{adm} = 9,34 \times 10^5$ e $N_{adm} = 7,66 \times 10^6$, (destacados na Tabela 3 na cores vermelha) que, portanto, não atendem ao $N_{projeto}$. Já, para o topo da base utilizou-se o modelo proposto pela USACE, resultando em um $N_{adm} = 6,44 \times 10^7$, atendendo ao $N_{projeto}$ e Klomp (1962) para o subleito, atendendo ao projeto com $N_{adm} = 1,28 \times 10^{23}$ (na cor verde).

Verificou-se que as espessuras determinadas para o revestimento pelo método do DNER-1981 não atenderam as solicitações geradas pelas cargas dos veículos. Logo, foram criadas novas hipóteses de espessura do pavimento, afim de validar uma estrutura que suportasse o tráfego, demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4. Hipóteses de estrutura de pavimento.

Hipóteses				
Camada	H1	H2	H3	H4
Revestimento (cm)	10	12	14	15
Base (cm)	15	15	15	15
Sub-base (cm)	44	44	44	44
Total	69	71	73	74

Fonte: Autora

Essas hipóteses foram avaliadas no software Elsym-5, assim como a estrutura inicial e, foram aplicadas as mesmas curvas de fadiga para validar o $N_{adm} \geq N_{projeto}$, apresentado na Tabela 5. Observa-se na Tabela 5, que foi necessário conduzir aumentos sucessivos da espessura das camadas de revestimento até 15,0 cm, para que todas as curvas de fadiga adotadas fossem validadas com o $N_{adm} \geq N_{projeto}$.

Tabela 5. Nadm para diferentes espessuras de revestimento.

N projeto = 9,82+06 - ISC - 4%					
Espessura do Revestimento (cm)		10,0	12,5	14,0	15,0
Parâmetros	Modelo	Nadm	Nadm	Nadm	Nadm
e_t	Brown (1977)	2,22E+06	5,36E+06	9,09E+06	1,23E+07
	Pinto (1991)	1,21E+07	1,94E+07	2,56E+07	3,02E+07
δ	USACE	1,41E+08	2,29E+08	3,02E+08	3,56E+08
$\sigma_{subleito}$	Klomp (1962)	1,21E+34	6,81E+38	7,64E+41	2,04E+44

Fonte: Autora

Na Tabela 6, o mesmo pavimento calculado pelo método DNER-81 foi imputado no software MeDiNa, afim de avaliar as considerações do software sobre tal estrutura. Nota-se que o MeDiNa têm como critérios de aceitação uma área máxima trincada de 30% e um afundamento de trilha de roda máximo de 20mm.

Verificou-se que a estrutura não suporta a carga que nela é aplicada, tendo como 3,5 anos o fim da sua vida útil, com mais de 30% de área trincada e 8,5 anos com 100% de sua área trincada. Dessa forma, é possível inferir que a estrutura estaria subdimensionada para o respectivo número $N_{projeto}$.

Ainda, também foram imputadas as espessuras das hipóteses de espessuras do pavimento, com o intuito de validá-las pelo método MeDiNa. Após a análise, verificou-se que nenhuma das estruturas elencadas nas hipóteses atenderam os critérios do novo método, tendo o fim da sua vida útil antes dos 10 anos.

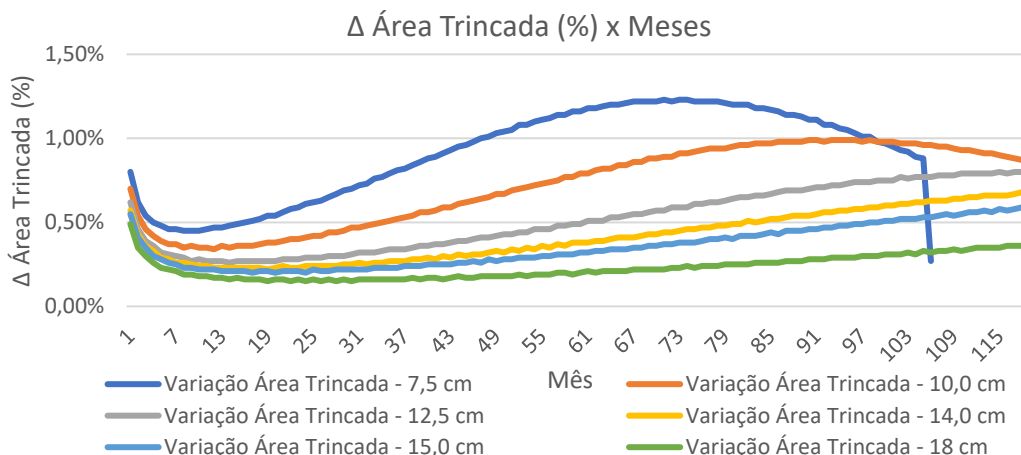
Tabela 6. Evolução dos danos no pavimento.

Evolução dos Danos no Pavimento				
	H1	H2	H3	H4
Área trincada > 30%	4,3 anos	6,0 anos	7,0 anos	7,8 anos
Área trincada fim da vida útil	96,43%	63,70%	51,18%	44,21%

Fonte: Autora

Na figura 2, é mostrado um gráfico gerado pelo MeDiNa que demonstra a variação da área trincada ao longo dos meses do período de projeto. Percebe-se que a evolução da variação da área trincada é, em sua maior parte, crescente, porém, apresenta também um período decrescente devido ao evento de propagação das trincas, que possui três fases: fissuração, crescimento estável das trincas e propagação instável das mesmas. O primeiro estágio de fissuração ocorre devido as cargas na qual o pavimento é submetido e as variações de temperatura, como demonstrado na figura 2. Após inicia-se a propagação estável das trincas devido às deformações plásticas cíclicas associadas a concentrações de tensão, que ocorrem devido à fadiga dos materiais e variações térmicas. Por fim, sucede-se o crescimento instável das trincas, que podem ter origem de microporosidades, bolhas e vazios, pois são focos de concentração de tensões, que pela repetida aplicação de cargas cíclicas podem aumentar a área trincada e, dessa forma, reduzir a resistência mecânica do material.

Figura 2. Variação da área trincada através dos meses.



Fonte: Autora (2023)

A partir disso, foi solicitado que software MeDiNa dimensionasse uma estrutura que suportasse o tráfego. Dessa forma, foi calculada uma estrutura com 19,1 cm de revestimento asfáltico modificado com borracha, 15,0 cm de brita graduada simples e 44,0 cm de macadame seco. O resultado do dimensionamento estrutural das camadas é mostrado na Tabela 7.

Comparando com a estrutura dimensionada inicialmente pelo método DNER-81, a espessura do revestimento asfáltico obteve uma diferença de 10,5 cm e em relação ao método MeDiNa. Já comparando a estrutura final obtida através das análises das tensões do Elsym-5, observou-se uma diferença de 3,0 cm. Pode-se notar que a camada de revestimento foi a que única que sofreu alteração, haja visto que tanto na análise das tensões e deformações no Elsym-5 quanto no MeDiNa as camadas granulares atenderam todas as solicitações de carga sofridas.

Tabela 7. Estrutura final dimensionada - MeDiNa

Estrutura Dimensionada - MeDiNa					
Camada	Material	Espessura	Mês	Área Trincada	ATR (mm)
Revestimento	Concreto Asfáltico Borracha	8,0			
Revestimento	Concreto Asfáltico Borracha	10,0			
Base	Brita Graduada Simples	15,0	120	29,33%	3,02
Sub-Base	Macadame	20,0			
Sub-Base	Macadame	24,0			

Fonte: Autora

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal comparar as diferentes metodologias de dimensionamento de pavimentos flexíveis. Aplicaram-se o método empírico do DNER-81, a análise mecanicista do software Elsym-5, e o novo método MeDiNa. Foi definido um trecho de conformação geométrica de uma agulha de integração à BR-101, que durante a pesquisa já havia sido executada.

Após as análises feitas, aferiu-se que o método de dimensionamento DNER-81 utilizado não atende as condições impostas pelo método MeDiNa. O primeiro é embasado no CBR do subleito e dos materiais de bases e sub-bases, enquanto que o segundo método, considera os módulos de resiliência e coeficiente de Poisson. Os resultados do dimensionamento pelo método DNER-81 foram desfavoráveis quanto às análises realizadas, tanto através da utilizando as curvas de fadiga tanto quanto ao MeDiNa.

A partir da pesquisa, é possível concluir que

1. Existe uma grande diferença entre os métodos de dimensionamentos estudados, haja vista que o método DNER-81 não contempla os critérios de fadiga e área trincada, que são o ponto principal do dimensionamento mecanístico-empírico;
2. O valor número de solicitações do eixo padrão (N) – 8,2t é um valor importante para todos os métodos de dimensionamento, visto que ele expressa o valor da carga que será aplicada no pavimento;
3. Comparando as tensões e deformações obtidas pelo software Elsym-5 com o MeDiNa infere-se que as obtidas pelo segundo software são maiores, visto que o programa considera as camadas do pavimento como uma estrutura não aderida. Assim, além da carga aplicada advinda do tráfego, no MeDiNa é considerado o atrito entre as camadas do pavimento, ocasionando tensões e deformações maiores no pavimento quando comparadas as obtidas no Elsym-5;
4. Os afundamentos de trilha de roda tendem a ser maiores em estruturas mais espessas. Considerando que o pavimento é constituído por múltiplas camadas, a deformação total provém do acúmulo sucessivos de deformações de todas as camadas, logo quanto maior as espessuras há uma tendência de maiores afundamentos;
5. O método de dimensionamento DNER-81, comparando com os critérios impostos pelo método mecanístico-empírico obtêm-se uma estrutura subdimensionada para as condições de tráfego atuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, R. C. *Dimensionamento Comparativo de Pavimento entre: Método DNER-81, Método Mecanicista e Método Medina em um Trecho da BR 101/SC: Uma Comparação de Resultados*. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Santa Catarina. 2022.

Balbo, José Tade. *Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração*. Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2007.

- Biedacha, M. M. *Dimensionamento de Pavimento Asfáltico Pelo Método DNER e Comparativo Com o Atual Método Mecanístico-Empírico Medina*. 2020. 132 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.
- Brown, S. F.; Pell, P. S.; Stock, A. F. *The Application of Simplified, Fundamental Design Procedures for Flexible Pavements*. The University of Michigan, 1977.
- Confederação Nacional dos Transportes, *Anuário CNT do Transporte: Estatísticas consolidadas*. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/> Acesso em Março de 2023.
- DNIT. *Manual de Pavimentação*. 3. ed. 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: 07 de set 2022.
- Fernandes, I. S. *Avaliação do Comportamento Mecânico da Camada de Brita Graduada “In Situ”*. 2000. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Infra-Estrutura e Gerência Viária, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Cap. 2. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30360411.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- Marcaccini, G.C.S. *Estudo Experimental de Laboratório para Emprego Da Escória De Aciaria Como Agregado Em Camadas De Base De Pavimento Flexível*. 2009. 176 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Cap. 4. Disponível em: <https://rodoviasverdes.paginas.ufsc.br/files/2010/04/GIAN-CARLOS.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- Medina, J.; Motta, L. M. G. *Mecânica dos Pavimentos*. 3ª Ed. Ed. Interciência. Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- Pinto, S; Preussler, E. *Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. Rio de Janeiro, 2002.
- Pitangui, L. C. *Análise Comparativa do Método Do DNER com o Método Mecanístico-Empírico Medina*. 2019. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília - Unb, Brasília, 2019. Cap. 1. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/25932/1/2019_LaraCordeiroPitangui_tcc.pdf. Acesso em: 10 mar. 2024.
- Silva, J. E. G. *Método Nacional de Dimensionamento de Pavimentos - Medina, Avaliação Da Duplicação Da AL-145*. 2018. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas - Ufal, Delmiro Gouveia, 2018. Cap. 4. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/4810/1/M%C3%A9todo%20nacional%20de%20dimensionamento%20de%20pavimentos%20-%20medina%2C%20avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20duplica%C3%A7%C3%A3o%20da%20AL-145.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2024.