

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE MECANÍSTICA DE PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO - MÉTODO DNER/DNIT E QUAL SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO DAS RODOVIAS BRASILEIRAS

Bruna Thaís Liesenfeld

Acadêmica do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI
email: brunaliesenfeld@gmail.com

Andréia Balz

Acadêmica do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI
email: bzandrea@yahoo.com.br

Leonardo Giardel Pазze

Acadêmico do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI
email: leonardo.pазze@gmail.com

André Luiz Bock

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI
email: andre.bock@unijui.edu.br

Resumo. *Através da análise de tráfego realizada na BR-448, no ano de 2016 obteve-se o número “N” pelo método da USACE para um período de 10 anos. Para o desenvolvimento do projeto das camadas do pavimento utilizou-se o método DNER 667/22 1981, onde foram dimensionadas duas estruturas, uma com reforço de subleito e outra sem reforço de subleito, escolhendo uma das estruturas, com critério de melhor desempenho econômico. Após efetuado o projeto das camadas fez-se a análise mecânica no software KENPAVE, com objetivo que o número “N” de compressão e de tração fossem maiores do que o “N” de projeto. Os resultados obtidos não foram satisfatórios devido a algumas limitações da norma DNER, com isso buscou-se uma alternativa de estrutura que alcançasse o objetivo acima citado. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a influência da determinação das espessuras com a utilização da norma citada acima e então verificar sua relação com as deficiências encontradas nas rodovias brasileiras, quanto a deformação permanente*

e por fadiga.

Palavras-chave: *Pavimento. Tráfego. Dimensionamento.*

1. INTRODUÇÃO

O pavimento pode ser definido como uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a superfície final de terraplenagem. Deve ser destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços do tráfego e do clima que está submetida e proporcionar ao usuário condições adequadas de rolamento, garantindo conforto, economia e segurança (BERNUCCI et al., 2006).

No princípio, as rodovias não eram baseadas em nenhum tipo de dimensionamento, sendo usual empregar camadas de mesma espessura e materiais semelhantes. (SANTOS, 2011).

As rodovias brasileiras são responsáveis por aproximadamente 90% do transporte de passageiros e por mais de 60% do transporte de cargas. Portanto, a qualidade da rodovia impacta significativamente na economia, pois uma estrada em más condições eleva o custo

operacional do transporte, devido aos maiores gastos com a manutenção dos veículos, com o maior consumo de combustível e com o aumento no tempo de viagem (CNT, 2017).

A economia brasileira é prejudicada pela falta de infraestrutura. Um exemplo é a malha rodoviária que encontra-se em condições insatisfatória tanto em desempenho quanto em segurança. A precariedade da malha rodoviária brasileira é reforçada pela avaliação do *World Economic Forum* (2017), na qual o Brasil recebeu a nota de 3,1 em um índice que varia de 1 (pior situação) a 7 (melhor situação), situando-se na 103ª posição dentre os 137 países avaliados.

É importante considerar os investimentos em manutenção e reconstrução, mas vale frisar também a importância de investimentos em pesquisas técnicas e em equipamentos de laboratórios e de campo, visando permitir um melhor entendimento dos métodos de projetos. (BERNUCCI et al., 2006).

O atual método de dimensionamento, ora desenvolvido pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, empregado através da norma DNER 667/22 (BRASIL, 1981), é baseado no dimensionamento por CBR (*California Bearing Ratio*), o qual é considerado o primeiro método de dimensionamento de pavimentos flexíveis. Tem como critério básico a ruptura por cisalhamento do subleito e das camadas granulares subjacentes. Através dele, determina-se a espessura total necessária para o pavimento em função dos dados geotécnicos e das características de tráfego solicitante. A espessura da camada de revestimento é determinada unicamente em função do tráfego solicitante, não sendo considerado as propriedades dos materiais empregados (SANTOS, 2011).

Como o método que é empregado é extremamente antigo (registrado em 1981, mas desenvolvido no final da década de 1950), diversos fatores que hoje são considerados essenciais, ainda não são considerados no processo de análise da

concepção estrutural do pavimento. Por sua vez, faz-se necessário o emprego de metodologias/análises complementares, a fim de garantir a confiabilidade da estrutura (BALBO, 2007).

Com o conhecimento sobre análises mecânicas de tensões e deflexões, bem como quanto a caracterização física e mecânica detalhada dos materiais, o desenvolvimento de ensaios não destrutivos e outros fatores, surgiu o método de dimensionamento de pavimentos por análise mecanística. Este consiste na aplicação dos princípios da mecânica dos pavimentos, considerando o pavimento como uma estrutura de múltiplas camadas, sujeita às cargas do tráfego e do clima. São vários os métodos ditos mecanísticos, os quais diferem-se pela técnica utilizada para análise de tensão-deformação (que depende fundamentalmente do módulo de resiliência), os critérios de desempenho adotados, os fatores campo-laboratório, etc. Com este método surgiram vários programas de dimensionamento de pavimentos, que calcula as tensões desenvolvidas no pavimento como sistema de camadas. (COUTINHO, 2011).

Dessa forma, a presente pesquisa busca verificar a vida em de serviço (passagem de eixo padrão) de um pavimento flexível dimensionado pela norma do DNER, através do emprego de uma análise computacional das deformações que o pavimento sofre.

2. METODOLOGIA

O presente estudo tem como propósito verificar a influência da determinação das espessuras das camadas pelo método DNER 667/22 (1981) nas deficiências encontradas nas rodovias brasileiras, em decorrência da defasagem da mesma perante a não consideração das particularidades dos materiais empregados na estrutura do pavimento.

As informações de tráfego aqui adotadas são oriundas de uma contagem realizada na BR-448/RS (BOCK, 2016) e posterior

classificação da frota de veículos. Com isso, obtém-se o número “N”, o qual refere-se ao número de solicitações equivalente de um eixo rodoviário padrão (ERSD) de 8,2tf (80 KN), pelo método da USACE, resultando no valor de $1,43 \times 10^8$ para um período de 10 anos.

Foram realizados dois dimensionamentos de estruturas para pavimentos flexíveis, um deles composto por revestimento, base, sub-base e subleito e o outro, revestimento, base, sub-base, reforço de subleito e subleito respectivamente. Os CBR’s adotados foram baseados nos critérios da norma DNER 667/22 (1981), sendo os materiais adotados para: reforço de subleito CBR maior que o do subleito, para sub-base CBR ≥ 20 e para a base CBR ≥ 80 , os materiais foram arbitrados de acordo com os CBR’s exigidos.

Assim sendo, os CBR’s e materiais utilizados:

- Subleito: CBR de 3%;
- Reforço de subleito: solo laterítico com CBR de 5%;
- Sub-base: macadame seco com CBR de 20%
- Base: brita graduada com CBR de 80%.
- Revestimento: concreto asfáltico usinado a quente.

Para a determinação da espessura do revestimento asfáltico, empregou-se a Tabela 1.

Tabela 1: Espessura mínima de revestimento asfáltico método DNER

N	Espessura mínima de revestimento asfáltico
$N \leq 10^6$	Trat. superficial asfáltico
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Rev. Asf. de 5cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	CA com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	CA com 10 cm de espessura
$N > 5.10^7$	CA com 12,5 cm de espessura

Fonte: Adaptado BRASIL (1981).

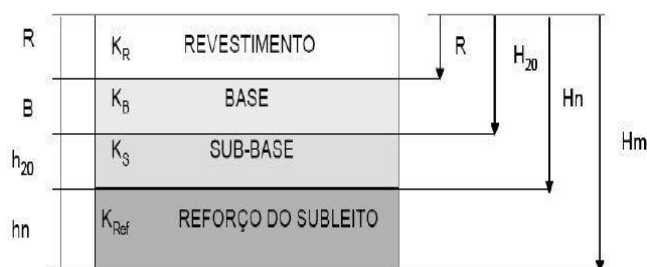
Dessa forma, com $N \geq 5,00 \times 10^7$ deve-se utilizar 12,5 cm de espessura.

Posteriormente, através dos CBR’s e da espessura do revestimento definidos anteriormente, foram obtidos através da normativa os coeficientes de equivalência estrutural (k), sendo eles:

- revestimento (K_r): 1,00
- base (K_b) sub-base granular (K_s): 0,77
- reforço de subleito (K_n): 0,71

Por fim, esses coeficientes foram substituídos nas Eq. (1), (2) e (3) da norma descritas a seguir, de acordo com a distribuição das camadas apresentadas na Fig. 1. Sendo R a espessura do revestimento, H₂₀ a espessura total sobre a sub-base, H_n a espessura total sobre o reforço, H_m a espessura total sobre o subleito.

Figura 1: Esquema de dimensionamento



Fonte: Adaptado BRASIL (1981).

Espessura total sobre a sub-base - H_{20}

$$R \times K_r + B \times K_b \geq H_{20} \quad (1)$$

Espessura total sobre o reforço de subleito - H_n

$$R \times K_r + B \times K_b + h_{20} \times K_s \geq H_n \quad (2)$$

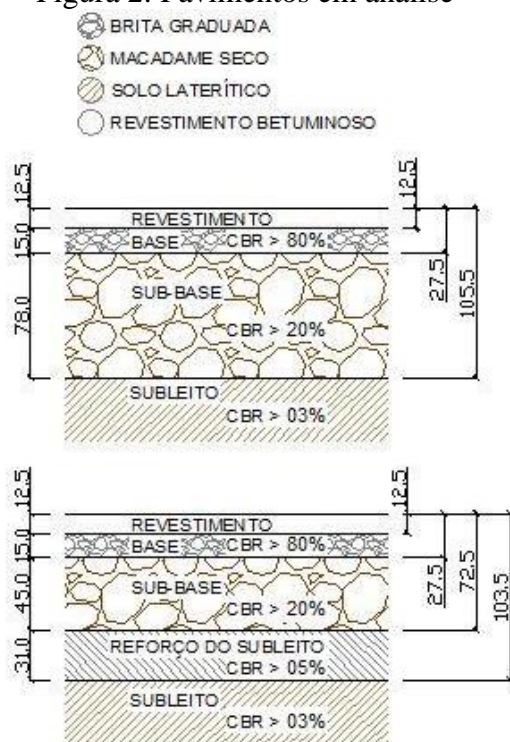
Espessura total sobre o subleito - H_m

$$R \times K_r + B \times K_b + h_{20} \times K_s + h_n \times K_n \geq H_m \quad (3)$$

3. RESULTADOS

Mediante as considerações expostas na metodologia, obteve-se as seguintes estruturas (fig. 2): a primeira é composta de subleito, sub-base, base e revestimento, enquanto a segunda é formada por subleito, reforço de subleito, sub-base, base e revestimento. As espessuras das camadas apresentadas estão em cm.

Figura 2: Pavimentos em análise



Primeiramente realizou-se uma análise econômica da viabilidade de utilização ou não de reforço de subleito. Dessa forma, devido a uma mudança da espessura da camada de sub-base, optou-se então pelo uso do reforço de subleito, uma vez que se torna mais viável o emprego do mesmo pois normalmente é utilizado solo como material, enquanto na camada de sub-base é utilizado material granular, o qual tem custo significativamente maior, considerando o solo oriundo do próprio trecho.

Em subsequência, adotando o modelo com reforço de subleito, realizou-se uma

análise mecânica no software KENPAVE. Definiu-se o coeficiente de Poisson em 0,45 e módulo de resiliência de 250 Mpa para pavimentos flexíveis.

Dessa forma, foi possível verificar que a maior deformação por tração é $1,43 \times 10^{-4}$, estando situada na fibra inferior do revestimento asfáltico e abaixo da roda, sendo essa responsável pela fadiga do material. De forma complementar, a máxima deformação permanente do subleito foi de $9,38 \times 10^{-5}$. A fim de validar a vida útil de projeto, esses valores foram substituídos nas Eq. (4) e (5), respectivamente.

$$N = K \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^n \quad (4)$$

$$N = K \left(\frac{1}{\varepsilon_v} \right)^n \quad (5)$$

Para a análise de fadiga, o valor n e o K utilizados provêm dos métodos Asphalt Institute, 1976 (1), Brown et. Al., 1977 (2), Pinto e Preussler e Pinto – CAP 50/70, 1980 (3), Pinto et. Al, 1991 (4), obtendo-se os respectivos números de passagens de eixo padrão “N”, demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2: Relação para tração.

Método	k	n	N
1	2.96E-06	3.29	1.32E+07
2	8.90E-13	4.90	6.12E+06
3	2.85E-08	3.69	4.37E+06
4	6.61E-07	2.93	1.21E+05

Para a compressão os métodos de análise foram Asphalt Institute, 1976 (1), Shell Oil 50%, 1988 (2), Shell Oil 95%, 1998 (3) e Lab Central des Ponts et Chaussés (4), onde se obteve os números “N” apresentados na Tabela 3.

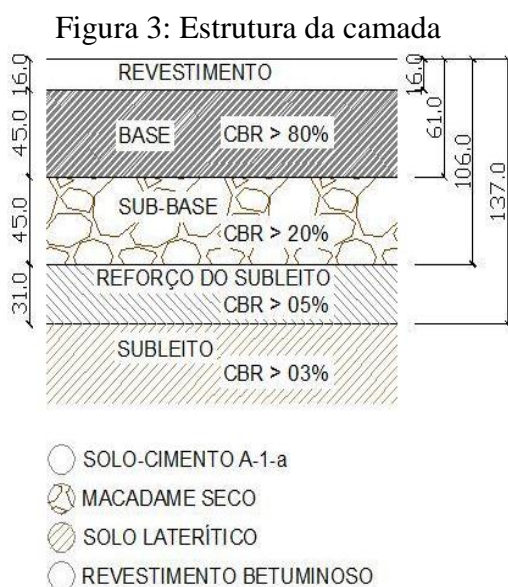
Tabela 3: Relação para compressão.

Método	k	n	N
1	1.365E-09	4.48	1.47E+09
2	6.15 E-07	4.00	7.94E+09
3	1.05E-07	4.00	1.36E+09
4	2.227E-09	4.505	3.11E+09

O objetivo dessas análises é verificar se o número “N” é superior ou igual ao de projeto. Contudo, como pode-se observar, o pavimento não resistiu a ação da fadiga, vindo a fraturar-se antes do previsto pelo método DNER. Em tempo, pode-se afirmar que o mesmo resistiria a deformação permanente.

Com isso, como alternativa optou-se por aumentar a espessura da camada de revestimento de 12,5 cm para 16 cm. Ainda assim o mesmo não atingiu a condição de projeto desejado e dessa forma, alterou-se também as demais camadas.

Alterou-se a estrutura do pavimento de flexível para semirrígida, com base de maior espessura e de solo-cimento A-1-a, utilizando o módulo de resiliência de 7500 MPa. A nova estrutura está representada na Figura 3, com espessuras das camadas em cm.



A partir dessa nova estrutura, realizou-se novamente uma análise mecânica onde os

resultados encontrados para a deformação por fadiga foi de $4,80 \times 10^{-6}$ e para a deformação permanente de $2,38 \times 10^{-5}$ substituindo os valores na Eq. (4) e Eq. (5), resultando nos valores apresentados na Tabela 4 para a tração e Tabela 5 para a compressão.

Tabela 4: Relação para tração.

Método	k	n	N
1	2.96E-06	3.29	1.32E+07
2	8.9E-13	4.90	6.12E+06
3	2.85E-08	3.69	4.37E+06
4	6.61E-07	2.93	1.21E+05

Tabela 5: Relação para compressão.

Método	k	n	N
1	1.365E-09	4.48	6.84E+11
2	6.15E-07	4.00	1.92E+12
3	1.05E-07	4.00	3.28E+11
4	2.227E-09	4.51	1.50E+12

Com essa estrutura obteve-se o N de compressão (deformação permanente) e o N de tração (fadiga) maiores que o N de projeto calculado para os 10 anos, sendo o dimensionamento do pavimento resistente ao número de solicitações equivalentes aos 10 anos previstos em projeto.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do dimensionamento, utilizando a espessura da camada de revestimento prevista, assim como os materiais e seus respectivos CBR's permitidos e indicados no método DNER 667/22 (1981), nota-se que o resultado da análise mecânica para a resistência a fadiga não foi satisfatório, sendo que a rodovia que assim dimensionada não atenderia aos esforços solicitantes previstos para os 10 anos, pois o N de projeto foi de $1,43 \times 10^8$, valor que não foi alcançado por nenhum método utilizado. Esse resultado obtido nos remete a defasagem do método citado acima, já que não faz menção alguma a resistência a

fadiga, não considerando deformações elásticas que podem ocasionar rupturas precoces por fadiga de revestimento asfáltico.

A ruptura por fadiga é uma das principais manifestações patológicas existentes nas rodovias brasileiras, podendo isso ser um reflexo do método de dimensionamento. Contudo, nos tempos de hoje quando os engenheiros dimensionam os pavimentos, já possuem a noção da defasagem da norma e buscam normalmente empregar uma análise mecanística, com intuito de complementar o dimensionamento.

É importante enfatizar que a estrutura do pavimento deve sempre atender as espessuras interpostas e, caso julgue-se necessário, essas espessuras podem ser aumentadas, a fim de garantir que o pavimento cumpra o seu papel, desde que devidamente justificada.

Nota-se que os resultados obtidos através da análise mecanística quanto a resistência ao cisalhamento, são maiores que o que é solicitado pelo tráfego. Isso se deve a norma ser desenvolvida para evitar rupturas por cisalhamento das camadas inferiores.

Ainda, não considera particularidades dos materiais, bem como, fundamenta-se no critério do CBR. No método o grau de compactação é requerido como no mínimo, 100% de energia de compactação normal.

Por fim, tem-se como uma alternativa a utilização de pavimentos semirrígidos o que nos traz um resultado satisfatório devido às propriedades do material.

5. REFERÊNCIAS

- BALBO, J. T.. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de textos, 2007. 558 p.
- BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS ; ABEDA, 2006. 504 p.
- BOCK, A. L. Pesagem em movimento de cargas atuantes em rodovias e seu impacto no desempenho de pavimentos da Rede Temática de Asfalto. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Informática Técnico-Científica. Norma DNER 667/22: Método de projeto de pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 1981. 34 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/667_metodo_d_e_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf>. Acesso em 15 out. 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?. Brasília, 2017. 160 p. Disponível em: <http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo_pavimento_s_ao_duram.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2018.
- COUTINHO, J. C. P.. Dimensionamento de pavimento asfáltico : comparação do método do DNER com um método mecanístico - empírico aplicada a um trecho / João Camilo Penna Coutinho - 2011. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.
- SANTOS, C. R. G.. Dimensionamento e Análise do Ciclo de Vida de Pavimentos Rodoviários: Uma Abordagem Probabilística. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- WORLD ECONOMIC FORUM. The Global Competitiveness Report 2017-2018. Geneva, 2017. 380 p. Disponível em: <<http://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitiveness>>

sReport2017%E2%80%932018.pdf>. Acesso
em: 29 mar. 2018.