

Comparativo de Projeto de Pavimentos Flexíveis através Métodos de Dimensionamento do Brasil e da AASHTO

Comparing Brazilian Flexible Pavements Design Method to AASHTO Design Procedure

*Wagner Dambros Fernandes(1); Luciano Pivoto Specht(2); Deividi da Silva Pereira(3);
Lélio Antônio Teixeira Brito(4)*

1 Mestre em Engenharia Civil. Instituto Federal Farroupilha, Brasil.

E-mail: w.dambros@gmail.com

2 Doutor em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

E-mail: luspecht@ufsm.br

3 Doutor em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

E-mail: dsp@ufsm.br

4 Doutor em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: leliobrito@gmail.com

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 5, n. 2, p. 99-113, Jul.-Dez. 2018 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Novembro 05, 2017; Aceito: Agosto 15, 2018]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2018.v5i2.2234>

Endereço correspondente / Correspondence address

Prof. Dr. Luciano Pivoto Specht

Universidade Federal de Santa Maria

Laboratório de Materiais de Construção Civil

Centro de Tecnologia – Prédio 10 - CT LAB - GEPPASV

Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária

Camobi, Santa Maria, RS, Brasil. CEP: 97105-900

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui!/click here!](#)

Resumo

Este trabalho tem como objetivo fazer a análise de pavimentos dimensionados por meio do método oficial do DNIT confrontando com o uso do software SisPavBR desenvolvido na UFRJ e também o software AASHTOWare Pavement, que carrega consigo o método de dimensionamento proposto pelo AASHTO ME, NCHRP 1-37A. Para isto, foi então feito uso da contagem de veículos realizados para BR116/RS; no entanto, foi necessário criar bandas de volume de tráfego (N), devido o método do DNIT não considerar o arranjo dos eixos como o SisPavBR e AASHTOWare fazem em suas avaliações. Foi realizado também o levantamento do custo executivo do km de pavimento dimensionado por cada método. Desta maneira, verificou-se que enquanto um pavimento dimensionado pelo DNIT necessita de uma espessura de revestimento de 12,5 cm, no SisPavBR a camada necessária é de 19,5 cm e a camada conforme a AASHTO 40 cm. Da mesma forma, o custo do pavimento foi mais elevado para o dimensionamento da AASHTO e do SisPavBR, em relação ao método oficial. Adicionalmente foi realizada a análise da vida de projeto do pavimento dimensionado pelo DNIT, o qual ficou bem abaixo do esperado em ambas as análises, em um dos casos a vida de projeto durou apenas 2 meses. Fica patente a necessidade de discutir a evolução do método oficial para uma abordagem mais moderna e em sintonia com a Mecânica de Pavimentos.

Palavras-chave: Dimensionamento Pavimentos. Custo. Vida Útil.

Abstract

This work aims to assess flexible pavements designed with the conventional Brazilian method of DNIT comparing to the newest SisPavBR software developed at UFRJ and also the AASHTOWare Pavement, which implements the design method proposed by AASHTO ME, NCHRP 1-37A. To accomplish such task, BR116/RS traffic volume and characteristics were used; nonetheless, it was necessary to create traffic volume bands (N), provided that the DNIT method does not account for vehicles arrangement of axle weight in the same fashion as SisPavBR and AASHTOWare. It was also assessed the construction cost of the kilometer of pavement designed by each method. As a result, while pavements designed by the DNIT required a surfacing thickness of 12.5 cm, SisPavBR required 19.5 cm for the same surface and AASHTO, 40 cm. Similarly, construction cost was higher for the design using AASHTOWare and SisPavBR, when compared to the official method. In addition, an analysis of the pavement life cycle for the pavement designed by the DNIT method behaved well below expected in both analyzes, reaching a case scenario of a 2 months life span. Unmistakably, the need to discuss the evolution of the official method to a more modern approach and aligned to the current Pavement mechanics concept.

Keywords: Pavement Design. Cost. Life cycle.

1 Introdução

O Pavimento é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentados sobre um semiespaço considerado teoricamente como infinito (infraestrutura ou terreno de fundação) a qual é designada de subleito (DNIT, 2006). Na NBR 7207 (1982) é definido o pavimento como uma estrutura construída sobre a terraplanagem e destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais, melhorar as condições de rolamento e resistir aos esforços horizontais.

A estrutura de um pavimento asfáltico é submetida a um carregamento superficial distribuído em uma área circular, aproximadamente uma elipse e as suas dimensões dependem do tipo de pneu, pressão de enchimento e da carga que a roda submete ao pavimento (BRANCO, 2006; FRANCO, 2007; PAPAGIANNAKIS; MASAD, 2007). Os esforços são transmitidos por ações verticais, que advêm do peso, na forma de pressão na superfície de contato, e por forças tangenciais, que são oriundas do rolamento do veículo ou também ocorridas na derrapagem e travagem (BRANCO, 2006).

Com a caracterização da estrutura e dos materiais, as espessuras das camadas predefinidas, os módulos de resiliência, os coeficientes de Poisson e também a composição do tráfego atuante, a resposta do pavimento pode ser estimada via cálculo das tensões, deformações e deslocamentos gerados na estrutura (FRANCO, 2007).

Com as passagens sucessivas das rodas dos veículos, os efeitos descritos anteriormente vão se repetindo e assim a deformação sucessiva pode acabar por implicar em uma ruptura do pavimento ao final de determinado número de passagens. Este fenômeno é chamado de fadiga dos materiais e comumente chamado de Lei da Fadiga, ou seja, a relação entre esforço repetido e a ruína do material (BRANCO, 2006; MEDINA; MOTTA; 2015).

Para análise estrutural Branco (2006) diz que, em pavimentos flexíveis a tensão e deformação relativas a cada passagem do eixo – padrão (8,2 tf) permite determinar por meio da Lei da Fadiga o número máximo (admissível) de passagens do eixo – padrão durante a vida útil do pavimento. Para isto a Equação 1 (BRANCO, 2006), determina o dano gerado no pavimento.

$$D = \frac{N_p}{N_a} \times 100 \text{ Eq.1}$$

Onde:

D é percentual de resistência;

N_p é número de eixos – padrão;

N_a é número de eixos – padrão que podem provocar deformação no pavimento sem que exista ruína.

A condição de regularidade do dimensionamento é que: $D > 100\%$, haverá o subdimensionamento e se $D < 80\%$, haverá sobredimensionamento. O dano total para cada tipo de manifestação é obtido pelo somatório de todos os danos unitários, em todos os pontos críticos da estrutura do pavimento.

Para Mattos (2014) os principais mecanismos de deterioração dos pavimentos flexíveis que devem ser considerados em um dimensionamento de pavimentos racional, são os que afetem o nível de serventia em termos funcionais ou que gerem falhas na estrutura durante a vida de projeto. O valor de serventia é uma nota atribuída por cinco avaliadores dentro de um veículo de passeio, classificando o estado da superfície de um determinado pavimento quanto ao seu conforto ao rolamento.

Hartmann (2012) diz que a degradação de um pavimento está correlacionada a várias patologias, como: deformações permanentes, trincamento por fadiga, trincamento por retração térmica, perda de adesão entre o agregado e o ligante e suscetibilidade a umidade. No entanto, cita que as duas primeiras estão mais relacionadas com o tráfego atuante e a estrutura do pavimento, enquanto as outras estão relacionadas mais diretamente com as características dos materiais utilizados e as condições climáticas em que o pavimento está construído.

Para mensurar os mecanismos de deterioração é necessário de modelos de previsão que determinem quais serão estes valores conforme as situações impostas ao pavimento. Desta forma a Tabela 1 apresenta os modelos de previsão do SisPavBR e da AASHTO. Ambas as metodologias são mecanísticas empírica, ou seja, a partir das respostas mecânicas (tensões e deformações) de uma estrutura de pavimento proposta, são utilizadas equações para calcular os danos causados em termos de trincamento, deformação permanente e irregularidade (este último apenas para o AASHTOWare Pavement). A parte mecanística é praticamente igual, o que difere são os modelos de cálculo de dano.

Tabela 1. Modelos de Previsão Desempenho da AASHTO e FRANCO

AASHTO (2002-2008)	
$N_f = 0,00432 \times k'_1 \times C \times \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,9492} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{1,281}$ $k'_1 = \frac{1}{0,000398 + \frac{0,003602}{1 + e^{11,02 - 3,49h_{ac}}}}$ $k'_1 = \frac{1}{0,0001 + \frac{29,844}{1 + e^{30,544 - 5,7357h_{ac}}}}$ $C = 10^{4,84\left(\frac{Vb}{Va+Vb} - 0,69\right)}$ $FC_{bottom} = \left(\frac{6000}{1 + e^{(C'_1 + C'_2 \cdot \log_{10}(D1 \cdot 100))}}\right) \left(\frac{1}{60}\right)$ $FC_{top} = \left(\frac{1000}{1 + e^{(2,8 - 1,4 \cdot \log_{10}(D2 \cdot 100))}}\right) (10,56)$ $C'_1 = -2 \cdot C$ $C = -2,40874 - 39,748 \cdot (1 + h_{ac})^{-2,856}$	<p>N_f é a vida útil do pavimento quanto à fadiga; k'_1 é o coeficiente espessura do revestimento; C é o coeficiente da mistura asfáltica; ε_t é a deformação de tração no revestimento; E é o módulo dinâmico do revestimento; h_{ac} é a espessura do revestimento; Va é o volume de vazios do revestimento; Vb é o teor de asfalto no revestimento; FC_{bottom} é o tracionamento da base para o topo; $D1$ é o dano de fadiga da base para o topo; $D2$ é o dano de fadiga do topo para a base.</p>
FRANCO (2007-2014)	
$N_f = fcl \cdot k_1 \cdot \varepsilon_t^{k_2} \cdot MR^{k_3}$ $\frac{\varepsilon_p(N)}{\varepsilon_r} = \mu \cdot (N)^{-\alpha}$ $\frac{\sigma_{adm}}{\rho_0} = \frac{\sigma_3}{\rho_0} + \varphi_3 \sqrt{\frac{\varepsilon}{l_0} \frac{1}{\varphi_1 \left(\frac{\sigma_3}{\rho_0}\right)^{\varphi_2} N^{\varphi_4}}}$	<p>N_f é a vida útil do pavimento quanto à fadiga; fcl é o fator campo - laboratório (10000); N é o número de repetições de carga; MR é o módulo de resiliência da mistura asfáltica; μ e α são os coeficientes de regressão; σ_{adm} é a tensão admissível; σ_3 é tensão de desvio; ρ_0 pressão atmosférica 1kgf/cm².</p>
<p>k_1, k_2, k_3, são os coeficientes de regressão, (1,904x10⁻⁶, -2,821, -0,740); ε_t é a deformação específica de tração no revestimento; ε_p é a deformação permanente devido à repetição de carga; ε_r é a deformação específica resiliente; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ são coeficientes de regressão que dependem do solo.</p>	

Fonte: adaptado de FERNANDES, 2016.

Assim o presente artigo tem como objetivos, submeter a estrutura de pavimento obtido por meio do dimensionamento do DNIT, aos modelos propostos pelo método de dimensionamento de Franco (2007), através do software SisPavBR, bem como aos

modelos propostos pelo método de dimensionamento da AASHTO (2008), através do software AASHTOWare Pavement. Determinar as espessuras de revestimento necessárias para atender as cargas impostas, por meio da análise do SisPavBR e do AASHTOWare. Realizar comparativo entre as estruturas obtidas por meio do dimensionamento do DNIT, SisPavBR e AASHTO.

2 Metodologia

O estudo comparativo entre o método do DNIT e os métodos contidos nos sistemas SisPavBR e AASHTOWare Pavement procedeu-se da seguinte forma, de primeiro momento foi realizado o dimensionamento pelo método do DNIT, onde foram obtidas as espessuras das camadas do pavimento. Com esta estrutura definida foi então feito uso do software do SisPavBR para determinar se a estrutura teria capacidade de suporte durante a vida útil prevista em projeto conforme os modelos de previsão do software e então redimensionada a espessura do revestimento. O mesmo foi realizado com o software da AASHTOWare Pavement (*level 3*), sendo que o mesmo possui 3 níveis, onde o 3 é o mais básico que utiliza propriedades de materiais de referência, diferentemente do que acontece nos demais níveis que necessitam da realização de ensaios para determinar tais propriedades. Vale lembrar que foram definidos os materiais a serem utilizados nas camadas do pavimento e não houve alteração nas características mecânicas e físicas dos materiais no decorrer dos estudos.

Para o tráfego foram utilizados os dados da BR 116, obtidos por Klamt (2014) por meio da ECOSUL – Empresa Concessionária de Rodovias do Sul, na Praça de Bom Retiro, em Pelotas/RS. Foi aplicado um percentual aos valores de Volume Diário Médio (VDM), para que fosse possível definir o volume de tráfego correspondente ao N desejado. Desta forma tinha-se o N para o dimensionamento por meio do método oficial do DNIT e nos sistemas SisPavBR e AASHTOWare, estes baseados na Hipótese de Miner. Esta hipótese nos diz que cada eixo causa um dano no pavimento e consome uma parcela da resistência à fadiga quando finda a resistência o pavimento rompe, ou seja, o dano é incremental e leva a ruína quando atinge 100% da resistência, assim necessitando da discretização do tráfego (Tabela 2). A taxa de crescimento utilizada foi a determinada por Klamt (2014) de 4,86% com um crescimento do volume de tráfego médio geométrico e para o cálculo dos Fatores de Equivalência de Carga (FEC), estes usados para unificar o tráfego em termos do número N (repetições do eixo padrão rodoviário de 8,2t), foram utilizadas as equações preconizadas pela USACE.

A confiabilidade de 50% optou-se devido ser um valor utilizado em projetos atualmente para rodovias em geral, mesmo que de forma implícita. Nos projetos de grande importância e com maior disponibilidade financeira poder-se-ia aumentar a confiabilidade.

Tabela 2. Percentuais do VDM atual utilizados para atingir os valores de “N”

Percentual do VDM		191%			143%			48%			14%			5%		
Categoria	Classe	VDM DIARIO														
		Total	80%	20%	Total	80%	20%	Total	80%	20%	Total	80%	20%			
CAT1	P	4319	3455	864	3236	2589	647	1076	861	215	323	259	65	108	86	22
CAT2	2CB	570	456	114	427	341	85	142	114	28	43	34	9	14	11	3
CAT3	2C1	25	20	5	19	15	4	6	5	1	2	2	0	1	1	0
CAT4	3C	598	479	120	448	359	90	149	119	30	45	36	9	15	12	3
CAT5	2C2	5	4	1	4	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
CAT6	2S2	115	92	23	86	69	17	29	23	6	9	7	2	3	2	1
CAT7	2S3	409	327	82	306	245	61	102	81	20	31	24	6	10	8	2
CAT8	3S3	589	471	118	442	353	88	147	117	29	44	35	9	15	12	3
CAT 10	3D4	59	47	12	44	35	9	15	12	3	4	4	1	1	1	0
CAT 11	3Q4	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAT 12	3T6	23	18	5	17	14	3	6	5	1	2	1	0	1	0	0
CAT 15	3T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		6714	5371	1343	5030	4024	1006	1673	1339	335	503	402	101	168	134	34
VDM TOTAL VEÍCULOS COMERCIAIS		2364			1771			589			177			59		
N		1,0x10 ⁸			7,5x10 ⁷			2,5x10 ⁷			7,5x10 ⁶			2,5x10 ⁶		

Fonte: adaptado de FERNANDES, 2016.

Para as cargas por eixo foi considerado a hipótese de que o carregamento por eixo se deu com 80,0% da frota com carga máxima no valor máximo estabelecido pelo CTB, e que os demais 20,0% de veículos trafegam vazios, se deslocando na busca de carga ou retornando para as bases de referência (LASTRAN, 2003). Os valores utilizados de carga por eixo são os descritos na tabela 3. O período de projeto é de 10 anos.

Tabela 3. Cargas por eixo para cada situação

	ESRS	ESRD	ETD	ETT
Carga Máxima Legal (tf)	6	10	17	25,5
Carga Veículo Vazio (tf)	0,5	1	4	5

Fonte: FERNANDES, 2016.

A estrutura de pavimento utilizada para realização dos estudos está apresentada na tabela 4, onde os valores mencionados são baseados no trabalho de Ribas (2014). Os módulos de subleito utilizados basearam-se no banco de dados do AASHTOWare, desta forma, para equivalência aos CBR's de 5, 10 e 15%, foi optado pelos solos A-5 (5%), A-3 (10%) e A-1-a (15%).

Tabela 4. Estrutura do pavimento usado para dimensionamento

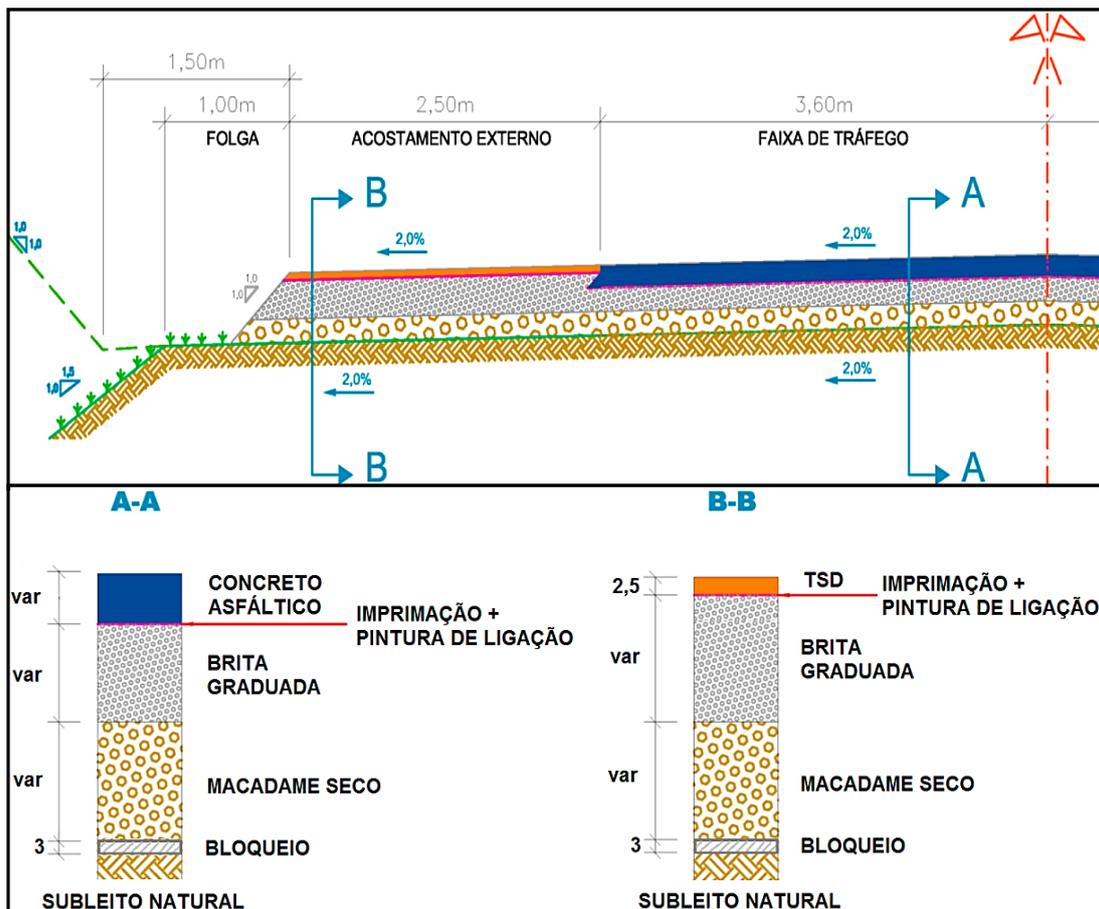
Camada	Material	Módulo de Resiliência	Coefficiente de Poisson
Revestimento	CBUQ	Calculado pelo AASHTOWare SisPavBR = 5000 MPa	0,35
Base	BGS	300 MPa	0,40
Sub-base	MS	208 MPa	0,40
Subleito	Solo (variando CBR)	53, 110 e 124 MPa	0,45

Fonte: FERNANDES, 2016.

No software SisPavBR foram utilizadas as condições climáticas referentes ao município de Porto Alegre no Rio Grande do Sul, visto que o tráfego utilizado é de uma rodovia localizada em partes da região escolhida. Foi escolhida a abertura do tráfego no mês de janeiro, onde existe uma severidade das altas temperaturas, o que pode implicar em maiores deformações iniciais do pavimento. Já para o software AASHTOWare foram utilizadas as condições climáticas da região de Savannah nos EUA, devido existir uma correspondência das temperaturas médias mensais entre Porto Alegre e Savannah, sendo que nas duas localidades a temperatura média anual é muito próxima, Porto Alegre 19,49°C e Savannah 18,98°C. A pluviometria anual acumulada se assemelha bastante, sendo de 1397mm para Porto Alegre/RS e de 1255mm para Savannah/GA (CLIMATE, 2018; FERNANDES, 2016).

O custo unitário do pavimento foi realizado com base nas tabelas desenvolvidas nos estudos de Ribas (2014) e o modelo de estrutura utilizada por Klamt (2014) como mostra na figura 1.

Figura 1. Estrutura do pavimento de referência e composição das camadas



Fonte: adaptado de KLAMT, 2014.

Os valores de custos foram atualizados por meio das planilhas de custos de serviços e materiais de referência do SICRO 2 de julho de 2015 e materiais betuminosos da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis no ano de referência

2015. O custo unitário de transporte dos materiais betuminosos utilizou a metodologia apresentada na instrução de serviço DNIT-IS/DG nº 02 de 18 de janeiro de 2011. Esta instrução define as equações tarifárias para o cálculo do custo base de transporte para materiais betuminosos a quente e a frio, em diferentes condições de superfície. Sendo atualizado por meio do índice de reajustamento de obras rodoviárias da Fundação Getúlio Vargas (FGV) na data base de dezembro de 2015 e mantido o adicional de ICMS referente ao estado do Rio Grande do Sul (17%). Assim resultando nos valores contidos na tabela 5. Todos os detalhes metodológicos estão descritos em Fernandes (2016).

Tabela 5. Custo unitário final para pavimento

CA (m ³)	PL (m ²)	IP (m ²)	BGS (m ³)	MS (m ³)	BL (m ³)	TSD (m ²)
R\$ 654,40	R\$ 1,02	R\$ 4,26	R\$ 249,02	R\$ 226,70	R\$ 163,43	R\$ 11,83

Legenda: CA: concreto asfáltico; PL: pintura de ligação; IP: imprimação; BGS: brita graduada simples; MS: macadame seco; BL: bloqueio; TSD: tratamento superficial duplo

Fonte: FERNANDES, 2016.

3 Resultados e Discussões

No dimensionamento pelo método do DNIT foram utilizadas as espessuras mínimas previstas pelo método, conforme mostra a tabela 6, para cada valor de N (USACE) aplicado como carregamento imposto ao pavimento.

Tabela 6. Espessuras do pavimento pelo Método DNIT

N	2,5x10 ⁶			7,5x10 ⁶			2,5x10 ⁷			7,5x10 ⁷			1,0x10 ⁸		
(%) CBR Subleito	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
E _{rev} (cm)	5	5	5	7,5	7,5	7,5	10	10	10	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
E _{bas} (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
E _{sub-base} (cm)	34	16	16	34	16	16	32	16	-	32	16	-	32	16	-

E_{rev} (cm): espessura do revestimento

E_{bas} (cm): espessura da base

E_{sub-base} (cm): espessura da sub-base

Fonte: elaboração própria.

Por meio de comparativo entre as espessuras mínimas propostas pelo DNIT e SisPavBR foi possível perceber algumas alterações de espessura do revestimento, conforme o tráfego imposto ao pavimento, como também a capacidade de suporte do subleito.

Pode se observar na Tabela 7, que para o SisPavBR o percentual de aumento na espessura do revestimento para os volumes de tráfego na ordem de 10⁶ foi maior para

o módulo de resiliência do subleito de 110 MPa, onde ficou em torno de 37%, que pode ser relacionado com a diminuição na camada de base em relação ao MR do subleito de 53 MPa e o aumento da capacidade de suporte do subleito para o MR de 124 MPa. Visto que desta maneira a deformação da camada de base é evitada, bem como as tensões no topo do subleito são melhores absorvidas (Tabela 7).

Tabela 7. Espessuras revestimento SisPavBR confiabilidade 50%

N	2,5x10 ⁶			7,5x10 ⁶			2,5x10 ⁷			7,5x10 ⁷			1,0x10 ⁸		
MR Subleito (MPa)	53	110	124	53	110	124	53	110	124	53	110	124	53	110	124
E _{rev} (cm)	6,3	6,9	6,8	9,9	10,3	10,1	14,1	13,9	13,8	18,4	17,7	17,4	19,5	18,7	18,5

Fonte: elaboração própria.

Já no caso de volumes de tráfego mais elevados, o aumento da espessura começa a ser maior, onde o módulo do subleito é menor, visto que chegam ao subleito maior tensão e conseqüentemente uma maior deformação, assim a variação de espessura ficou entre 32% e 56%. A maior espessura de revestimento foi obtida para maior solicitação, ou seja, N de 10⁸ e módulo de resiliência do subleito com menor capacidade de suporte (53 MPa).

O dimensionamento pela AASHTO triplicou a espessura do revestimento com um MR de 53 MPa e para os casos de MR de 110 e 124 MPa a variação foi menor, um aumento de 50%, ou seja, 2,5 cm de revestimento a mais para N de 2,5x10⁶. No caso de N de 7,5x10⁶ é mantida a espessura do revestimento igual para o MR de 53 e 110 MPa, variando para o MR de 124 MPa onde ocorre uma redução de 2,5 cm na espessura do revestimento devido ao ganho no subleito. É possível observar que o aumento na camada de revestimento passa de 22,5 cm em N de 7,5x10⁶, para 32,5 cm para o N de 2,5x10⁷. Para os MR do subleito de 110 e 124 MPa a espessura do revestimento se manteve, do mesmo modo que aconteceu no dimensionamento do DNIT, elevando na ordem de 225% a espessura (Tabela 8).

Tabela 8. Espessuras revestimento AASHTO confiabilidade 50%

N	2,5x10 ⁶			7,5x10 ⁶			2,5x10 ⁷			7,5x10 ⁷		
MR Subleito (MPa)	53	110	124	53	110	124	53	110	124	53	110	124
E _{rev} (cm)	15	7,5	7,5	22,5	22,5	20	32,5	27,5	27,5	40	35	35

Fonte: elaboração própria.

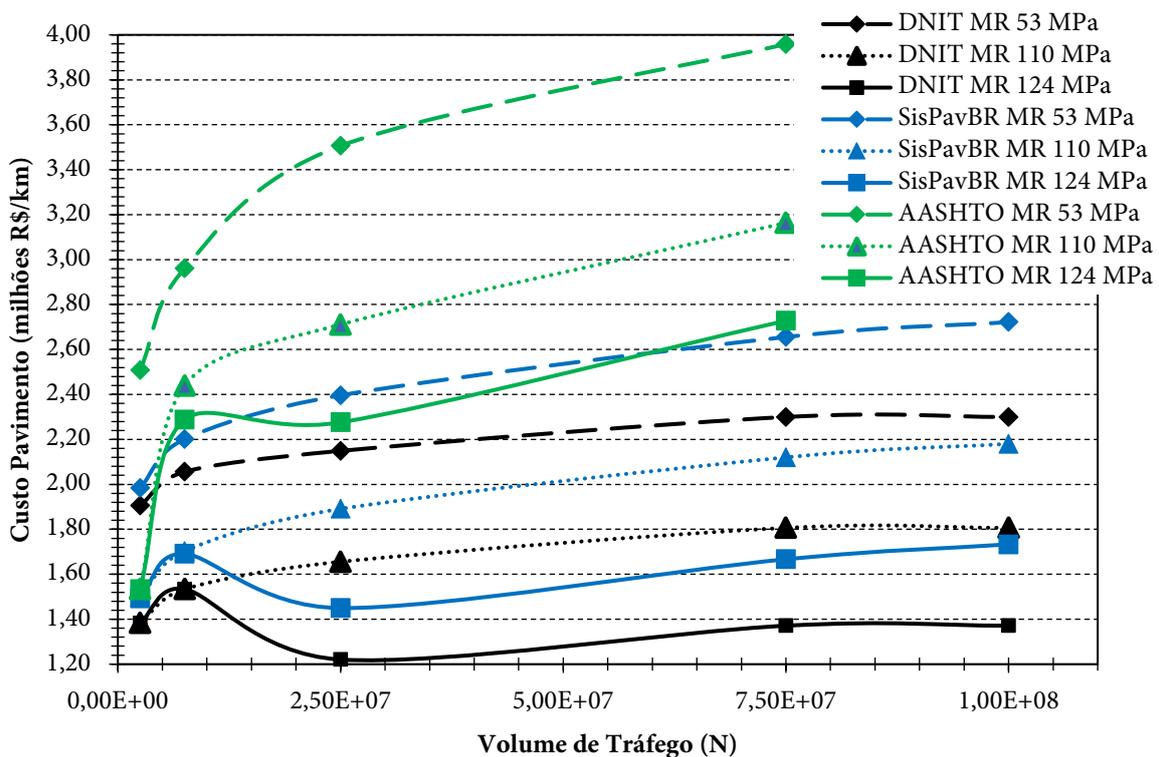
Para o N de 7,5x10⁷ ocorreu tanto para o subleito com MR de 53, 110 e 124 MPa um aumento na camada de revestimento de 7,5 cm com relação ao N de 2,5x10⁷. Com o método da AASHTO a sensibilidade dos modelos de desempenho no que se refere ao módulo de resiliência do subleito, visto que para todos os casos as maiores espessuras do revestimento se deram no subleito com MR de 53 MPa, também é significativa a

importância da espessura do revestimento, pois mesmo ao ser aumentada praticamente o dobro a espessura da sub-base em relação a um subleito com MR de 110 MPa, mantêm-se a necessidade de maiores espessuras do revestimento.

Para o N de $1,0 \times 10^8$ pela AASHTO não foi possível realizar o dimensionamento do revestimento, bem como pelo SisPavBR com confiabilidade de 90%, havia o indicativo que para este nível de tráfego a solução proposta não atenderia os critérios de projeto.

A relação do custo executivo dos pavimentos, conforme cada metodologia de projeto e capacidade de suporte do subleito estão descritos na Figura 2.

Figura 2. Custo dos pavimentos conforme o valor de N

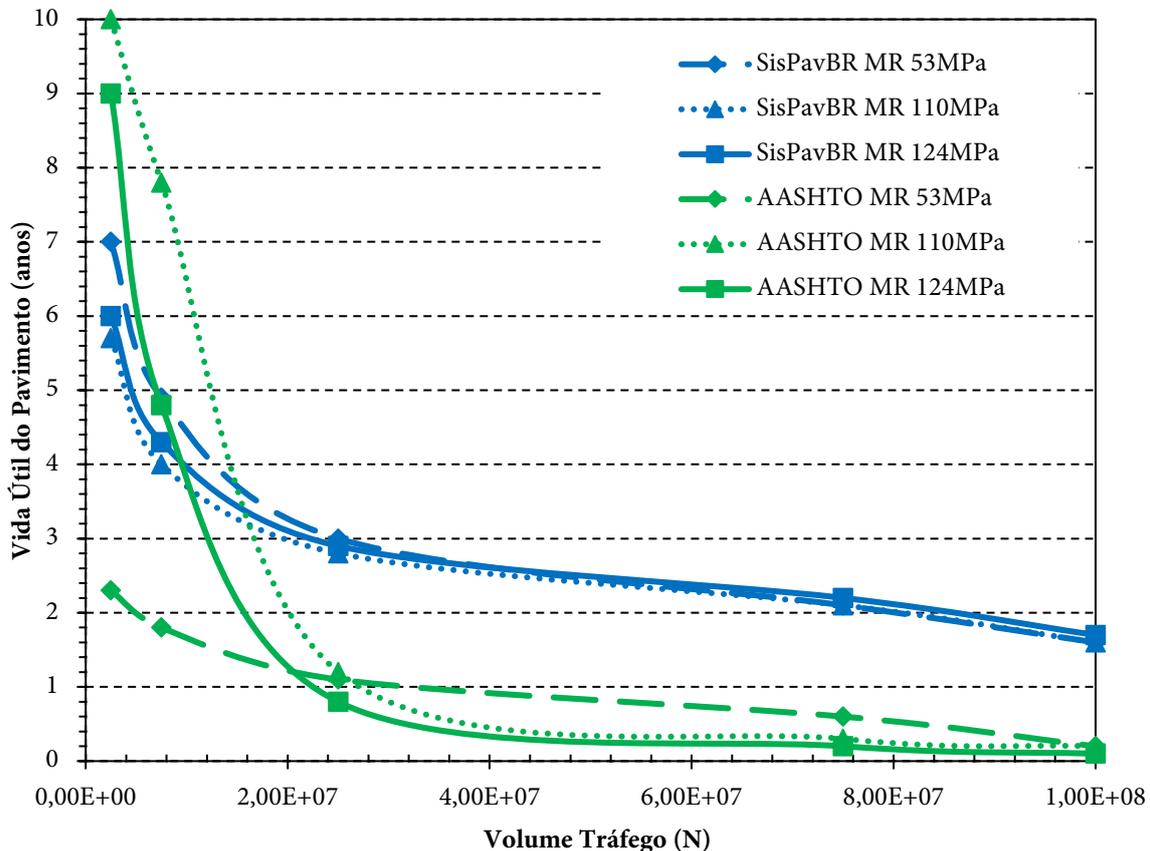


Fica evidente, que quanto maior a capacidade do subleito, menor o custo de execução do pavimento, bem como ao ser imposto maior volume de tráfego maiores são os custos. Isto se dá devido ao aumento da espessura do revestimento, onde estão os materiais mais caros, como o ligante; por este estudo o custo com o concreto asfáltico representa entre 17% a 32% do custo final do pavimento para o DNIT, 15% a 33% para o SisPavBR e de 23% a 47% para a AASHTO.

Em uma análise entre o método da AASHTO e o SisPavBR, o método americano mostra-se bem mais rigoroso (a partir dos modelos de desempenho adotados) quanto ao desempenho satisfatório de seus pavimentos. Nota-se que a diferença de espessura do revestimento aumenta conforme o tráfego é mais alto, que se deve ao fato do método ter sua calibração na década de 60, ou seja, as modificações e atualizações nos projetos se mostram necessárias.

Na etapa da análise de desempenho dos pavimentos dimensionados pelo método do DNIT (referência), ou seja, por meio dos softwares AASHTOWare Pavement e SisPavBR, foi determinada a vida útil do pavimento (Figura 3), bem como o critério de desempenho não atendido para confiabilidade 50%.

Figura 3. Vida Útil do pavimento dimensionado pelo DNIT e avaliado pelos softwares da SisPavBR e AASHTOWare



Nota-se claramente que quanto maiores os valores de tráfego menor o tempo de vida útil (que inicialmente deveriam ser de 10 anos); isso explica-se, pois quando o método oficial foi concebido (décadas de 50 e 60), os tráfegos eram muito menores que os atuais, sendo que a vida de fadiga, que não é considerada no método atual é a principal responsável pela vida útil dos pavimentos flexíveis. Para valores acima de 10^7 repetições do eixo padrão a durabilidade dos pavimentos, com confiabilidade de 50%, é inferior a 2 anos, ou seja, algo inadmissível quando se empregam recursos públicos e se deseja efetividade de investimentos.

É importante salientar que o pavimento dimensionado pelo DNIT de forma empírica pode estar resultando em um pavimento que cause uma ideia equivocada de economicidade, enquanto na verdade este pavimento gera investimento mais elevado, bem como a insatisfação do usuário da rodovia, devido a sua durabilidade real ser menor que a prevista em projeto. Assim, outros métodos de dimensionamento podem se mostrar mais atraentes para realidade atual do tráfego brasileiro.

4 Considerações finais

As maiores espessuras de revestimento obtidas para uma confiabilidade de 50% foram de 19,5 cm para N de 10^8 em um subleito de MR de 53 MPa pelo SisPavBR e de 40 cm para um volume de tráfego de $7,5 \times 10^7$ com subleito de MR de 53 MPa pelo AASHTO.

Em relação ao método do DNIT o aumento de espessura do revestimento variou entre 32% a 56% para SisPavBR e superior a 200% para AASHTO.

O aumento no custo do pavimento em relação ao dimensionamento pelo DNIT variou entre 4% a pouco mais de 26% para o SisPavBR e aproximadamente de 11% a 98% pela AASHTO, quando submetido a N de $1,0 \times 10^8$.

Porém, vale ressaltar que se o for pavimento dimensionado pelo método do DNIT, de forma empírica, não terá durabilidade de 10 anos e o custo de manutenção pode ocasionar em valores mais elevados que a AASHTO e o SisPavBR. Ou seja, verificar os métodos de dimensionamento, refinar os projetos pode apresentar, em longo prazo, melhor retorno financeiro.

Para valores de N elevados tanto o AASHTO quanto o SisPavBR mostraram que para estes casos, talvez, o pavimento flexível não seja a melhor solução. E o método do DNIT apresenta boa durabilidade quando submetido a valores de N baixos, aqueles que estavam em uso na época de desenvolvimento do método.

A análise dos pavimentos efetuada pelo método da AASHTO de pavimentos dimensionados pelo DNIT e SisPavBR indicou que o emprego do segundo leva a uma maior vida útil, sendo que estes valores dobraram ou triplicaram; no caso extremo de N de $1,8 \times 10^8$, o subleito com módulo de resiliência de 124 MPa e metodologia do DNIT o tempo de utilização do pavimento em boas condições segundo a avaliação foi de pouco mais de 1 mês.

Num comparativo entre AASHTO e o SisPavBR, o método americano mostra-se bem mais cauteloso, conduzindo a maiores espessuras. Porém, o SisPavBR pode estar mais adequado (calibrado) para as condições nacionais. Ou seja, um excelente ponto de partida para mudanças nos projetos de pavimentos flexíveis brasileiros.

Cabe salientar que as análises realizadas pelo método da AASHTO se valeram de constantes *default* dos modelos de previsão de desempenho sem qualquer calibração local. Considerando que o método do DNIT não considera a variação do comportamento dos materiais e não se propõem ao dimensionamento para os parâmetros de desempenho funcional dos pavimentos, assim como o SisPavBR, deve se ter cautela na comparação direta entre os resultados aqui demonstrados.

Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *AASHTOWare Pavement ME Design*. Informativo Software. Disponível em: <http://www.aashtoware.org/Pavement/Pages/default.aspx>. Acessado em 27/04/2015.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *MEPDG-1 Mechanistic Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice*. Washington D. C. American Association of State Highway Transportation Officials, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7207: terminologia e classificação de pavimentação*. Rio de Janeiro, 1982.
- BRANCO, Fernando; PEREIRA, Paulo; SANTOS, Luís Picado. *Pavimentos Rodoviários*. Almedina. Coimbra, Portugal, 2006.
- CLIMATE-DATA.ORG. Disponível em: <https://pt.climate-data.org>. Acessado em: 02 julho 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de Pavimentação*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- FERNANDES, W. D. *Análise Comparativa entre os Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do Brasil e o Método a AASHTO*. Dissertação de mestrado PPGEC. UFSM. Santa Maria, RS, 2016.
- FRANCO, F.A.C.P. *Método de Dimensionamento Mecanístico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SisPav*. Tese de D.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- HARTMANN, D.; SPECHT, L. P.; PEREIRA, D. S.; PINHEIRO, R. J. B. Utilização do MEPDG Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide na análise estrutural e funcional de pavimentos flexíveis. *Revista Pavimentação*, v. 23, p. 18-24, 2012.
- KLAMT, R. A. *Influência da Ação do Tráfego no Custo de Construção e Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Dissertação de mestrado PPGEC. UFSM. Santa Maria, RS, 2014.
- LASTRAN (Laboratório de Sistemas de Transporte, do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). *A Influência do Tráfego de Composição de Veículos de Carga – CVC's sobre os Pavimentos das Rodovias do Rio Grande do Sul*. Relatório, v.1. DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem). 2003.
- MATOS, Gisnári de Fátima Alves. *Estudo do Trincamento Tipo Top-down em Pavimentos Flexíveis através do Método dos Elementos Finitos*. Dissertação de Mestrado. PPGMM / UNIJUÍ. Ijuí, RS, 2011.
- MATTOS, João Rodrigo Guerreiro. *Monitoramento e Análise de Desempenho de Pavimentos Flexíveis da Ampliação da Rodovia BR – 290 / RS – A Implantação do Projeto Rede Temática de Asfalto no Rio Grande do Sul*. Tese de doutorado. PPGEC / UFRGS. Porto Alegre, RS, 2014.
- MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos Pavimentos*. 3ª Ed. Editora Interciência. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

PAPAGIANNAKIS, A. T.; MASAD, E. A. *Pavement Design and Materials*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.

RIBAS, J. *Parâmetros Elásticos Típicos de Materiais de Pavimentos Flexíveis do Rio Grande do Sul e sua Aplicação em uma Análise de Custo/Benefício*. Dissertação Mestrado PPGEC. UFSM. Santa Maria, RS, 2014.