

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS UTILIZADOS NA ALEMANHA E COMPARAÇÕES COM OS MÉTODOS BRASILEIROS

252

CONSIDERATIONS ON ASPHALT PAVEMENT DESIGN METHODS USED IN GERMANY AND COMPARISONS WITH BRAZILIAN METHODS

LUCAS FERREIRA FOLGADO

Engenheiro Civil pela UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
jisela.aparecida@gmail.com

JISELA APARECIDA SANTANNA-GRECO

Doutora e Docente da UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
jisela@etg.ufmg.br

Resumo: O pavimento flexível com revestimento asfáltico é a tecnologia mais utilizada no Brasil para construção de rodovias. Entretanto a qualidade da maioria das estradas brasileiras não apresenta desempenho suficiente para garantir a segurança do motorista e contribuir com o deslocamento de pessoas e bens pelo país. Um país referência mundial em qualidade de infraestrutura é a Alemanha, que também é conhecida pelas suas autoestradas (*Autobahn*), que propiciam aos motoristas segurança, conforto e confiabilidade. Na Alemanha já existem estudos bastante avançados em relação ao dimensionamento de pavimentos, principalmente os flexíveis, sendo exemplo disso o Manual de Pavimentação, *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen* – RStO12, desenvolvido pela Associação em Pesquisa de Transportes e Estradas, *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen* – FGSV. Devido à atualização recorrente dos manuais RStO, a penúltima versão foi de 2001 e a última é de 2012, pode-se dizer que a metodologia de dimensionamento de pavimento está mais adequada à realidade do país. O objetivo deste trabalho é comparar a metodologia de dimensionamento de pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico do Manual DNIT 2006 e o RStO12. Como metodologia empregada, foi feito um dimensionamento de uma nova estrada fictícia com o uso da metodologia indicada no manual brasileiro e no manual alemão. Como resultado desta comparação, percebeu-se que a espessura da estrutura do pavimento calculado pelo método do RStO12 foi muito superior em comparação com a espessura calculada pelo método do DNIT 2006 (aproximadamente 71,4% a mais de espessura pelo método alemão).

Palavras-chave: Pavimentos flexíveis. Método de dimensionamento empírico do DNIT. Métodos de dimensionamento utilizados na Alemanha.

Abstract: Flexible pavement with asphalt coating is the most used technology in Brazil for highway construction. However, the quality of most Brazilian roads does not present sufficient performance to guarantee the safety of the driver and contribute to the displacement of people and goods across the country. A world reference in terms of infrastructure quality is Germany, which is also known for its motorways (*Autobahn*), which provide drivers with safety, comfort and reliability. In Germany there are already quite advanced studies on pavement design, especially the flexible ones, such as the Paving Manual, *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen* - RStO12, developed by the Association for Research in Transport and Roads, *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen* - FGSV. Due to the recurrent update of the RStO manuals, the penultimate version was from 2001 and the last is from 2012, it can be said that the methodology of design of pavement is more appropriate to the reality of the country. The objective of this work is to compare the methodology of design of flexible pavements with asphalt coating of Manual DNIT 2006 and RStO12. As a methodology, a new fictitious road was designed using the methodology indicated in the Brazilian manual and in the German manual. As a result of this comparison, it was found that the thickness of the pavement structure calculated by the RStO12 method was much higher compared to the thickness calculated by the DNIT 2006 method (around 71.4% more thickness using the German method).

Keywords: Flexible pavements. DNIT empirical design method. Methods used in Germany.

Introdução

É notório que atualmente o Brasil conta com uma extensa malha rodoviária e ela é o principal modal de transporte de cargas no país, com uma fatia de aproximadamente 60% do total, segundo o Plano CNT (Confederação Nacional do Transporte) de Transporte e Logística de 2014 (CNT, 2014). Atualmente a malha rodoviária tem uma extensão de 1.720.756 km, sendo que apenas 211.468 km são pavimentados, que é o correspondente a 12,3% do total.

O modal rodoviário brasileiro, além de ser reconhecido como o principal meio de transporte de cargas, é também conhecido pelas péssimas condições das estradas. Segundo a Pesquisa CNT de Rodovias 2016 (CNT, 2016), 58,2% da extensão total avaliada apresenta algum tipo de deficiência, seja no pavimento, na sinalização ou na geometria da via e encontram-se no estado regular, ruim ou péssimo. Os outros 41,8% das rodovias pesquisadas foram classificadas como ótimo ou bom, pois possuem adequadas condições de segurança e desempenho.

As melhorias nas condições das rodovias brasileiras podem influenciar vários aspectos e áreas, como o meio ambiente, com a diminuição do consumo de diesel e em consequência a redução da emissão de CO₂, a diminuição do custo do frete e transporte de passageiros, a redução da quantidade de acidentes e por fim, o aumento da competitividade dos produtos brasileiros, como foi analisado na Pesquisa CNT de Rodovias 2016.

A Alemanha é mundialmente conhecida pela ótima qualidade das suas rodovias, principalmente as *Autobahn*, que são as “autoestradas federais”. Este fator foi um dos responsáveis por colocar a Alemanha entre as oito nações com a melhor infraestrutura do mundo, segundo o Relatório Global de Competitividade 2016-2017 do *World Economic Forum*.

Em comparação com o Brasil, a Alemanha conta com aproximadamente 650.000 km de rodovias pavimentadas, segundo a *Central Intelligence Agency* (CIA, 2016), e comparando-se a densidade da malha rodoviária pavimentada, o Brasil tem 25,3 km/1.000 km², os EUA têm 438,1 km/1.000 km² e a Alemanha tem 1.849 km/ 1.000 km². Estes dados foram elaborados com base na Pesquisa CNT de Rodovias (2016) e *The World Factbook* da CIA (2016).

Outro fator preocupante em relação às rodovias brasileiras é a crescente frota de veículos dos últimos anos, que teve um aumento de 110,4% nos últimos 10 anos, segundo o Denatran, enquanto que as rodovias federais cresceram apenas 11,7%, segundo a Pesquisa CNT.

Isto combinado com as condições desfavoráveis das rodovias, implica no aumento do número de acidentes.

Dessa forma, este trabalho irá fazer uma análise crítica do Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura (DNIT, 2006a) que é utilizado no Brasil em comparação com os manuais “*Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen*” (RStO, 2012) e “*Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht*” (RDO Asphalt, 2009) utilizados na Alemanha, que será o país de referência para esta análise. A análise e a comparação servirão de base para uma possível definição das causas da péssima condição da maior parte das rodovias pavimentadas no Brasil, tendo como foco o revestimento asfáltico das estradas.

Generalidades do pavimento

O Manual de Pavimentação de 2006 do DNIT (DNIT, 2006a) define que o pavimento de uma rodovia é uma estrutura em camadas, mais conhecida como superestrutura, em que cada camada é constituída de materiais com diferentes resistências e deformabilidades. O subleito é a fundação do pavimento, sendo limitado superiormente pelo pavimento e a sua espessura será considerada até a profundidade na qual atuam de forma significativa, as cargas impostas pelo tráfego. Usualmente tal profundidade se situa numa faixa de 0,60m – 1,50m.

A superestrutura de uma rodovia tem como função receber as cargas impostas pelo tráfego de veículos e as redistribuir para os solos da fundação/subleito e proporcionar condições satisfatórias de velocidade, segurança, conforto e economia no transporte de pessoas e mercadorias. Para isto, ela deve obedecer aos seguintes requisitos: estabilidade; resistência a esforços verticais, horizontais, de rolamento, frenagem e aceleração centrípeta nas curvas; durabilidade e regularidade longitudinal.

Camadas dos pavimentos flexíveis

O pavimento de uma rodovia, com função de receber e transmitir esforços de maneira a aliviar tensões sobre as camadas inferiores deve ter uma estrutura constituída por camadas que devem trabalhar deformações compatíveis com a sua natureza e capacidade de suporte. Sendo

assim, não deverão ocorrer processos de ruptura ou danificação de forma prematura e inadvertida nos materiais que constituem as camadas da superestrutura. Cada estrutura do pavimento possui uma ou mais funções específicas, que devem proporcionar aos veículos as condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática, visto que as cargas aplicadas sobre a superfície do pavimento acabam por gerar determinado estado de tensões. As magnitudes das cargas aplicadas na estrutura pelos veículos e também pelo ambiente geralmente ocorrem de modo transitório e isto não implica numa repetição constante.

Com isto, pode-se dizer que são gerados esforços solicitantes verticais e horizontais pelas cargas externas. Segundo Balbo (2007), os esforços verticais podem ser reduzidos a solicitações de compressão e cisalhamento; os esforços horizontais podem inclusive solicitar certos materiais à tração ou simplesmente atuar confinando outros materiais.

Método DNER

Há muito tempo a pavimentação rodoviária no Brasil tem sido objeto de estudos e práticas de construção, quando foram formuladas normas e procedimentos por experientes técnicos do então Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), que se tornaram, com suas sucessivas atualizações, o estado da arte na Engenharia Rodoviária.

A partir dos anos 1950, do século passado, graças ao intercâmbio de conhecimento entre Brasil e Estados Unidos, as técnicas de pavimentação tiveram um grande desenvolvimento. Como consequência desta interação, houve a necessidade de uniformizar e normalizar as especificações de serviço e as técnicas de construção, o que, em função dos trabalhos promovidos pelo corpo técnico do DNER, deu origem à primeira edição do Manual de Pavimentação em 1960.

A primeira atualização do Manual ocorreu em 1996, quando foi lançada a segunda edição do Manual, em que foi incorporado todo o progresso tecnológico acumulado durante o período, incluindo modificações nos materiais, nos equipamentos e nas técnicas usadas.

Essa segunda edição foi revisada e atualizada, que resultou na terceira edição do Manual, que foi lançado pelo DNIT em 2006, que será o material de trabalho utilizado. A atualização foi motivada pela necessidade de ajustar o Manual ao padrão DNIT e de promover

mudanças no formato e na ordenação dos capítulos, sem acarretar substanciais modificações conceituais.

A observação apresentada no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006a, p. 13) diz que este é apenas um documento de caráter orientador no âmbito da Engenharia Rodoviária, relacionada com a área de pavimentos asfálticos.

Por ter como base teórica o critério do CBR (*California Bearing Ratio*), o método do DNER – DNIT (DNIT, 2006a) se tornou uma variante do CBR e simula os efeitos de repetições de carga de um eixo padrão de 18.000 libras ou 80 kN, modelo concebido pelo Prof. Murilo Lopes de Souza, do Instituto Militar de Engenharia (IME) em meados de 1960. O modelo empregado adotou as mesmas formulações adotadas por Turnbull et al. (1962), tendo apenas pequenas adaptações na variação de carga com profundidade e adoção de uma carga única em vez de um par de rodas duplas. O número de repetições de carga do eixo padrão, com base no período de projeto definido, é calculado com base nos fatores de equivalência de carga do próprio método do extinto DNER.

A composição do tráfego rodoviário por veículos apresenta diversas configurações de eixos com diferenças importantes de magnitude de cargas, sendo que um eixo isolado é denominado simples e eixos em conjunto são denominados tandem. O carregamento da frota deve basear-se na classificação dos veículos passantes, em que também são classificados os tipos de eixos, com a determinação dos limites de peso para cada tipo de eixo e a distribuição da carga por eixo, para o caso dos caminhões.

O método de dimensionamento de pavimento pelo DNIT (DNIT, 2006a) leva em consideração o VDM (Volume Diário Médio), no ano médio do período de projeto, na superestrutura, por isso o manual indica o dimensionamento em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão para o período de projeto escolhido, visto que o VDM engloba todos os veículos em ambos os sentidos da via. O Manual de Pavimentação determina os valores de espessura mínima de revestimento betuminoso e também atenta para a indeterminação deste assunto na engenharia rodoviária, quer para o uso na proteção da camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, quer para evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão.

Método da Alemanha – RStO 12 e RDO

Com a introdução do “*Richtlinien für den Straßenoberbau – Standardausführungen*“, traduzido para o português como “Guia para a Superestrutura – Padronização da Execução”, no ano 1975 e os seguidos “*Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen*“ (RStO), traduzido para o português como “Guia para a Padronização das Estruturas do Pavimento de Áreas de Tráfego”, o método de dimensionamento e a construção das estradas alemãs foram normatizados por estes manuais. O órgão responsável pela elaboração e publicação do RStO é o *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen* (FGSV), que é a Associação Alemã de Pesquisa de Estrada e Transportes.

O RStO se baseia nos conhecimentos empíricos para o dimensionamento das estruturas do pavimento, sendo que para isto é disponibilizado um catálogo com possíveis configurações de superestruturas diferentes de acordo com a carga suportada e o método construtivo escolhido.

O contínuo aumento da capacidade de transporte dos veículos e, com isso, o aumento do número de veículos de tráfego pesado causa o aumento do carregamento na superestrutura das estradas. Para fazer-se uma determinação empírica do tempo de vida útil das estruturas de uma estrada ou então a construção da superestrutura para um carregamento de tráfego esperado, é necessário definir o aumento dos veículos de tráfego pesado e o carregamento causado por eles no pavimento.

Segundo o Manual RStO (RStO 12), existem dois métodos de cálculo da configuração de tráfego relevante ou o total de eixo-padrão equivalente a 10t (100 kN) a ser suportado durante a vida útil do pavimento (designado por “B”):

- Método 1 é usado se apenas as informações do *Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Fahrzeugarten des Schwerverkehrs* (DTV) – Média Diária de Tráfego de Veículos Pesados - estiverem disponibilizadas, em que pode ser calculado com fatores variáveis ou fatores constantes, Método 1.1 e Método 1.2 respectivamente;

- Método 2 requer conhecimento detalhado do carregamento do eixo-padrão na superestrutura, em que pode ser calculado com fatores variáveis ou fatores constantes, Método 2.1 e Método 2.2, respectivamente.

A determinação da quantidade de veículos vem sendo feita desde 1975 de forma automática e por estações contínuas em rodovias federais escolhidas e até ano de 2016 foram

instaladas 1736 estações de acordo com a BASt (*Bundesanstalt für Straßenwesen*) – Instituto Federal de Pesquisa em Rodovia.

A descrição dos veículos registrados pelas estações está focada nas descrições básicas, como mostra a tabela 1, de acordo com o *Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen* TLS (FGSV, 2012) – Condições Técnicas de Distribuição de Estações de Rodovias.

Para a determinação da quantidade de veículos que trafegam nas rodovias federais são consideradas nos cálculos apenas duas classes de grupos de veículos, que são os veículos com mais de 3,5 t (35 kN) de peso total e pertencem aos grupos 5+1 e 8+1.

Tabela 1. Classificação e descrição dos veículos de acordo com os critérios técnico da TLS.

Classe Elementar	Abreviação	Descrição
Motocicleta	Krad	Motocicletas, também com <i>sidecar</i> como triciclos e quadriciclos (sem contar bicicletas e bicicletas motorizadas).
Automóvel sem trailer	Pkw	Desde automóveis pequenos até limusines grandes (inclusive carros offroad, pick-ups e SUVs) sem trailer.
Van/ veículo comercial sem trailer	Lfw	Veículo comercial ≤ 3,5 t (35 kN) peso total permitido sem trailer
Automóvel com trailer	PkwA	Automóvel com trailer e veículo comercial ≤ 3,5 t (35kN) peso total permitido com trailer
Caminhão sem trailer	Lkw	Caminhão > 3,5 t (35 kN) peso total permitido sem trailer (também unidade trator de caminhão articulado sem trailer)
Caminhão com trailer	LkwA	Caminhão > 3,5 t (35 kN) peso total permitido com trailer
Caminhão articulado	Sttel-Kfz	Todos os caminhões articulados (unidade trator com trailer)
Ônibus	Bus	Veículo com mais que 9 lugares para serviço de transporte de pessoas; também com trailer
Veículo não classificável	nk Kfz	Todo veículo motor, em que não é possível determinar o modelo ou que não pertence a nenhuma das classes anteriores.

Fonte: RStO (2012).

Para o cálculo de B pelo Método 1.1, em que são utilizados fatores variáveis, é usada a Equação (1).

$$B = 365 * q_{Bm} * f_3 * \sum_{i=1}^N [DTA_{i-1}^{(SV)} * f_{1i} * f_{2i} * (1 + p_i)] \quad (1)$$

Sendo,

- N Vida útil ou tempo de serviço (em anos); indicado 30.
- q_{Bm} Quociente médio do espectro de carga atribuído à classe particular da rodovia que expressa o carregamento médio da classe específica da rodovia de acordo com a quantidade atual de eixos passantes (quociente do total de eixo-padrão equivalente 10 t e o total atual de eixos passantes de tráfego pesado (SV) para um período definido em uma faixa.
- f_3 Fator de inclinação.
- $DTA_{i-1}^{(SV)}$ Número médio diário de eixos passantes (AP) de tráfego pesado em um ano de uso $i-1$ [AP/24] onde $DTA_{i-1}^{(SV)} = DTV_{i-1}^{(SV)} * f_{A-1}$.
- $DTV_{i-1}^{(SV)}$ Frequência diária média para tráfego pesado em um ano de uso $i-1$ [veículos/24h].
- f_{Ai-1} Número médio de eixos por veículo para tráfego pesado (fator de número de eixo) em ano de uso $i-1$ [A/veículo].
- f_{1i} Fator de faixa em ano de uso i .
- f_{2i} Fator de largura de faixa em ano de uso i .
- p_i Aumento fracionário anual médio em tráfego pesado no ano de uso i .

Para o cálculo de B pelo Método 1.2, em que são utilizados fatores constantes e a indicação no RStO (RStO 2012) é que o período total pode ser dividido em período de análise parcial, cada um com valores constantes para f_1 , f_2 , f_3 , f_A , q_{Bm} e f_z , apresentados nas tabelas 2 a 8.

Tabela 2. Fator número de eixos f_A .

Classe de estrada	Fator f_A
Rodovias Nacionais	4,5
Estradas nacionais principais	4,0
Estradas estaduais e distritais	3,3

Fonte: RStO (2012).

Tabela 3. Quociente de espectro de carga q_{Bm} .

Classe de estrada	Quociente q_{Bm}
Rodovias Nacionais	0,33
Estradas nacionais principais	0,25
Estradas estaduais e distritais	0,23

Fonte: RStO (2012).

Tabela 4. Fator de faixa f_1 para determinação do DTV^(SV).

Número de faixas no corte transversal ou no sentido de direção	Fator f_1 registrado por DTV	
	Em ambas as direções	Separado para cada direção
1	-	1,00
2	0,50	0,90
3	0,50	0,80
4	0,45	0,80
5	0,45	0,80
6 ou mais	0,40	-

Fonte: RStO (2012).

Tabela 5. Fator de largura de faixa f_2 .

Largura da faixa (m)	Fator f_2
Abaixo de 2,50	2,00
Entre 2,50 e 2,75	1,80
Entre 2,75 e 3,25	1,40
Entre 3,25 e 3,75	1,10
Acima de 3,75	1,00

Fonte: RStO (2012).

Tabela 6. Fator de inclinação f_3 .

Inclinação longitudinal máxima (%)	Fator f_2
< 2	1,00
≥ 2 < 4	1,02
≥ 4 < 5	1,05
≥ 5 < 6	1,09
≥ 6 < 7	1,14
≥ 7 < 8	1,20
≥ 8 < 9	1,27
≥ 9 < 10	1,35
≥ 10	1,45

Fonte: RStO (2012).

Tabela 7. Aumento anual médio no tráfego pesado p^* .

Classe de estrada	p
Rodovias Nacionais	0,03
Estradas nacionais principais	0,02
Estradas estaduais e distritais	0,01

Fonte: RStO (2012).

* Quando for determinar a configuração da carga de tráfego relevante para a faixa escolhida, o limite da capacidade da faixa deve ser considerado.

Tabela 8. Fator de crescimento anual médio para tráfego pesado f_z .

N [anos]	Aumento médio anual no tráfego pesado p		
	0,01	0,02	0,03
5	1,020	1,041	1,062
10	1,046	1,095	1,146
15	1,073	1,153	1,240
20	1,101	1,215	1,344
25	1,130	1,281	1,458
30	1,159	1,352	1,586

Fonte: RStO (2012).

O cálculo pode ser simplificado para cada período de análise parcial ($N > 1$) com o uso da Equação (2).

$$B = N * DTA^{(SV)} * q_{Bm} * f_1 * f_2 * f_3 * f_z * 365 \quad (2)$$

Onde $DTA^{(SV)} = DTV^{(SV)} * f_A$ e $f_z = \frac{(1+p)^{N-1}}{p * N}$.

Para o Método 2 de determinação de B com o uso apenas dos dados de carga axial aplicada e de fatores variáveis, o Manual RStO (RStO 2012) indica o uso do Método 2.2 com a Equação (3).

$$B = 365 * f_3 * \sum_{i=1}^N [EDTA_{i-1}^{(SV)} * f_{1i} * f_{2i} * (1 + p_i)] \quad (3)$$

$EDTA_{i-1}^{(SV)}$ = Número médio de eixo-padrão equivalente atual (equivalente AP/24h) do tráfego pesado no ano de uso i-1 onde

$$EDTA_{i-1}^{(SV)} = \sum_k \left[DTA_{(i-1)k}^{SV} * \left(\frac{L_k}{L_0} \right)^4 \right].$$

Para determinação de B com o uso dos dados de carga de eixo e fatores com valores constantes, o Manual RStO (RStO 2012) indica a Equação (4), sendo que o período total pode ser dividido em períodos de análise parcial, em que cada um tem valor constante para f_1 , f_2 , f_3 e f_z . O cálculo pode ser simplificado para cada período de análise parcial ($N > 1$) como indica a Equação (4) a seguir.

$$B = N * EDTA^{(SV)} * f_1 * f_2 * f_3 * f_z * 365 \quad (4)$$

Após a determinação do valor de B por um dos métodos apresentados pelo Manual RStO (RStO 2012), deve-se relacionar este valor com a classe de carregamento apresentada na tabela 9.

Tabela 9. Carregamento relevante de tráfego e a respectiva classe de carregamento.

Carregamento relevante para o dimensionamento de eixo-padrão equivalente 10 t (milhões)	Classe de carregamento
Maior que 32*	Bk 100
De 10 a 32	Bk 32
De 3,2 a 10	Bk 10
De 1,8 a 3,2	Bk 3,2
De 1,0 a 1,8	Bk 1,8
De 0,3 a 1,0	Bk 1,0
Até 0,3	Bk 0,3

Fonte: RStO (2012).

*Para carregamentos de tráfego pesado maior do que 100 milhões de eixos equivalentes, a estrutura do pavimento deverá ser dimensionada com o RDO.

A espessura da camada resistente ao degelo, de acordo com o RStO 12, é composta por uma espessura mínima, bem como espessuras aumentadas e reduzidas. A espessura mínima depende da classe de sensibilidade à geada do solo e do carregamento relevante para o dimensionamento B, classe de carga definida, como mostrado na tabela 10.

Tabela 10. Valores iniciais para determinação da espessura mínima da estrutura do pavimento resistente à geada.

Classe de sensibilidade à geada	Espessura em cm para a classe de carga		
	Bk100 a Bk10	Bk3,2 a Bk1,0	Bk0,3
F2	55	50	40
F3	65	60	50

Fonte: RStO (2012).

Parâmetros para dimensionamento da estrada

▪ Parâmetros de solo

Pela revisão da literatura, percebe-se que o Manual RStO (RStO 2012) é limitado à região da Alemanha, pois para dimensionar a espessura mínima da estrutura do pavimento resistente à geada, é necessário identificar o local que será construída a estrada. Por isso, foi definido que a estrada será construída na região ao redor de Dresden, no estado da Saxônia

(*Sachsen*) na Alemanha. Sendo assim, a zona de ação da geada será a F3, que é caracterizada por muito sensível à geada, segundo definição da RStO12. Dentre os possíveis solos encontrados na região escolhida está o solo siltoso com baixa plasticidade do grupo UL, segundo classificação da DIN 18196 (2011), que será o escolhido para este trabalho. Segundo Santos (2006), pode ser encontrado um índice CBR de 14 em um solo siltoso com baixa plasticidade, por isso o IS adotado nesta metodologia é 14. Apesar de Santos (2006) ter considerado apenas os solos tropicais, que não são encontrados na Alemanha, a adoção do IS igual a 14 causará pouco impacto negativo nesta metodologia, pois ambos os solos pertencem ao grupo ML, que incluem materiais predominantemente siltosos e solos micáceos, em que solos deste grupo são siltes arenosos, siltes argilosos ou siltes inorgânicos com relativa baixa plasticidade, segundo classificação da USCS.

▪ **Parâmetros de tráfego**

Para o tráfego de veículos nesta estrada, consideraremos que o volume de veículos diário médio de veículos passantes no ano 1 de projeto será 1300 veículos/24h. Os veículos pesados aqui considerados são os caminhões médios, pesados e reboques e semi-reboques, como indica o Manual DNIT (DNIT 2006b) e o Manual RStO (RStO12) e a quantidade de veículos pesados neste estudo de eixos passantes é de 341 veículos. Como parâmetro de tráfego e de projeto, será considerado um crescimento anual da frota de veículos de 3% ao ano, sendo que neste trabalho, será seguida a indicação do Manual RStO (RStO12) para 30 anos de vida útil da rodovia. Para os cálculos pela metodologia indicada pelo Manual DNIT (DNIT 2006b), será utilizado o eixo padrão de 8,2 t (82 kN), e para os cálculos pela metodologia indicada pelo Manual RStO (RStO12), será utilizado o eixo padrão de 10 t (100 kN).

▪ **Parâmetros do perfil da estrada**

Para o dimensionamento das estruturas do pavimento neste trabalho, foi considerado que a via tem quatro faixas de rolamento, sendo que serão duas faixas para cada sentido da via em que cada uma tem uma largura de 2,60 m e inclinação longitudinal máxima de 3,0%. No

presente caso, esta estrada é da classe Rodovia Federal, segundo classificação do Manual RStO (RStO12).

Resultados e discussão

▪ Dimensionamento da estrada pelo Manual DNIT (DNIT 2006)

O dimensionamento pelo Manual DNIT (DNIT 2006) para a estrada fictícia definida neste trabalho está apresentado na tabela 11.

Tabela 11. Espessuras das estruturas da estrada fictícia com base no Manual DNIT.

Revestimento	12,5 cm
Base	5 cm
Sub-base	10 cm
Reforço do subleito	10 cm
Espessura total	47,5 cm

Fonte: DNIT, 2006a.

▪ Dimensionamento da estrada pelo Manual RStO (RStO 2012)

Segue-se agora o dimensionamento com base nas recomendações do RStO12 (RStO 2012), que é o manual de pavimentação vigente na Alemanha. Como neste caso temos os dados das cargas dos eixos passantes na rodovia de interesse, será utilizado o Método 2 para a determinação da configuração de tráfego relevante B.

Por determinação nos parâmetros de tráfego, a taxa de crescimento anual (p) do tráfego será de 3% durante os 30 anos de vida útil da rodovia. Será definido também que as características do perfil da estrada irão se manter constantes durante os 30 anos, que são a largura da faixa de rolamento, a inclinação longitudinal máxima da via, o número de faixas e de direções na via. Sendo assim, será utilizado o Método 2.2, que determina o B com base nestes fatores constantes durante a vida útil.

A equação de determinação do B é a Equação (4), transcrita novamente a seguir.

$$B = N * EDTA^{(sv)} * f_1 * f_2 * f_3 * f_z * 365$$

Para o cálculo do valor de EDTA^(SV) seguiu-se o manual RStO (RStO 2012), que considera que a carga do eixo padrão (L0) é 10 t (100 kN), sendo que Lk é a carga do eixo pesado.

O fator f1, relacionado ao número de faixas em cada sentido, terá o valor de 0,50, pois o valor do volume médio diário de veículo foi encontrado para as duas direções e cada sentido da via tem 2 faixas. O fator f2, que está relacionado com a largura da faixa, terá o valor de 1,80, pois a faixa tem uma largura de 2,60, que está entre 2,50 e 2,75. O fator f3, que está relacionado com a inclinação longitudinal máxima, terá valor de 1,02, pois o parâmetro determina 3%, estando na faixa de 2 – 4%. O fator fz está relacionado com o crescimento do volume de veículos nos 30 anos (N) de vida útil da estrada. A equação para determinar o valor de fz é a

seguinte:

$$f_z = \frac{(1+p)^N - 1}{p * N} = \frac{(1+0,03)^{30} - 1}{0,03 * 30} = 1,58585$$

Sendo assim, o valor de B será:

$$B = 30 * 3773,3 * 0,5 * 1,8 * 1,02 * 1,58585 * 365$$

$$B = 6,02 \times 10^7 \text{ eixos equivalentes totais (ESALs)}$$

A partir do valor de B, é possível determinar a classe de carregamento na via, com base na tabela 9. Então a classe de carregamento é Bk100.

A partir a classe de sensibilidade do solo à geada (F3), a espessura mínima indicada pelo Manual RStO (RStO 2012) é de 65 cm. Os parâmetros para determinação de espessura adicional ou reduzida são os seguintes:

A = +15 cm (Zona de ação da geada III);

B = 0 cm (Sem influência climática especial);

C = 0 cm (Nível d'água abaixo de 1,5 m);

D = 0 cm (posição vertical da superfície da estrada está sobre o greide);

E = 0 cm (Drenagem da rodovia por calha, vala e declive).

Sendo assim, a espessura do reforço da camada resistente à geada é 80 cm.

O perfil da estrutura do pavimento escolhido foi o referente à classe Bk100 na linha 4 (*Line 4*) do método. Neste caso, será considerado que a espessura do reforço do subleito (*Frost*

Blanked course) terá 35 cm, então as espessuras das estruturas do pavimento estão descritas na tabela 12.

Tabela 12. Espessuras das camadas do pavimento pelo método RStO.

Revestimento asfáltico	12 cm
Base	18 cm
Sub-base	15 cm
Reforço do subleito	35 cm
Espessura total	80 cm

Fonte: RStO, 2012.

Considerações finais

A partir de uma situação fictícia de dimensionamento de um pavimento, foi possível perceber algumas diferenças nas metodologias estudadas. O pavimento dimensionado pelo RStO12 (RStO 2012) apresentou espessura total maior do que a do método utilizado no Brasil. Provavelmente isso se deve à consideração pelo RStO12 de condições climáticas extremas, como a geada, que após o período de degelo resulta na diminuição da resistência do solo. Por isso, deve haver um reforço a mais no pavimento, em comparação com outras regiões, como as tropicais.

Apesar de não haver muita diferença de tempo de edição entre os manuais, apenas seis anos, percebe-se que o Manual RStO (RStO 2012) leva em consideração o eixo padrão de 10 t (100 kN), por considerar o aumento da capacidade de carga dos veículos com o passar dos anos, o que causa maior desgaste no pavimento.

Conclui-se também que a maior diferença entre os dois métodos está nos dados do solo que são utilizados como base teórica de cálculo. Vê-se que o Manual DNIT (DNIT 2006a) utiliza o índice CBR, enquanto que o Manual RStO12 (RStO 2012) utiliza o módulo de elasticidade. Com este trabalho não foi possível estudar qual dos dois dados seria o mais indicado a se usar, por isso, será feita apenas esta observação.

Apesar de não ter sido feito um estudo dos materiais utilizados no pavimento, pode-se observar uma diferença de espessura considerável na soma do revestimento e da base entre os dois resultados. Pelo método brasileiro, foi determinada uma espessura de 17,5 cm na soma do

revestimento com a base. No método alemão essa soma foi de 30 cm, uma diferença de 12,5 cm, aproximadamente 71,4% a mais de espessura pelo método alemão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pelo apoio recebido.

Referências

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BUNDESANSTALT FÜR STRAßEN BERGISCH GLADBACH – BAST. **Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen – TSL. 2012**. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Bonn – Alemanha.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY - CIA. **The World Factbook, 2016**. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2085rank.html>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Plano CNT de Transporte e Logística**. 2014. Brasília: CNT: SEST SENAT. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Paginas/plano-cnt-transporte-logistica>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2016**. Brasília: CNT: SEST SENAT.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **Frota de Veículos, por ano de fabricação, segundo as regiões e Unidades da Federação**: dados de julho de 2006 e julho de 2016. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentação IPR 719**. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006a.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de estudos de tráfego IPR 723**. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006b.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN – FGSV. **Richtlinien für den Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen**, 2012. 4. Ed. Leipzig – Alemanha.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESSEN – FGSV. **Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht – RDO Asphalt**, 2009. 4. Ed. Colônia – Alemanha.

268

SANTOS, E. F. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificação geotécnicas aplicadas aos solos tropicais**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2006.

TURNBULL, W. J.; FOSTER, C. R.; AHLVIN, R. G. **Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volume**. In: International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Arbor, 1962 p. 130 – 134, Ann Arbor, 1962.

WALTHER, A. **Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen unter Berücksichtigung stündlicher Beanspruchungszustände**. Braunschweig, 2015. Technische Universität Carolo-Wilhelmina, 2015.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Report 2015-2016**. Geneva Switzerland. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2017.