

MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO PARA PAVIMENTOS DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

Lélio Antônio Teixeira Brito

Andrew R. Dawson

Nottingham Transportation Engineering Centre - NTEC
University of Nottingham

RESUMO

As rodovias de baixo volume de tráfego (RBVT) são de vital importância econômica e social para um país. Devido aos escassos recursos investidos nas técnicas de engenharia destas rodovias, identifica-se uma baixa confiabilidade dos atuais guias de dimensionamento para RBVT. O objetivo desta tese de doutorado é avançar na aplicação de modelos elasto-plásticos para estudo do mecanismo de deformação permanente de materiais granulares, principal constituinte de rodovias com revestimento primário, visando à elaboração de um método de dimensionamento empírico-mecanístico. Para tanto, propõem-se o monitoramento de rodovias em serviço para avaliação da evolução do afundamento de trilha de roda, ensaios acelerados de pavimento e uma componente laboratorial de ensaios de materiais granulares – ensaios triaxiais estáticos e de cargas repetidas.

ABSTRACT

Low volume roads (LVR) are vital for the social and economical aspects of a country. As little financial investments are dedicated to engineering techniques of these roads, a low reliability of the existing design guides to LVR is identified. The broad aim of this PhD thesis is to advance in the application of elasto-plastic models to study the permanent deformation in unbound granular materials (UGM), the main constituent of unsealed and thinly sealed roads, marshaling into a mechanistic-empirical design guide. To accomplish that, it is proposed to monitor in service roads for the rutting evolution, accelerated pavement testing and also a laboratorial component for UGM tests – static and repeated loading triaxial tests.

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária brasileira constitui um modal vital para o transporte brasileiro; desta, aproximadamente 90% é constituída de rodovias não-pavimentadas (AET/GEIPOT, 2001). As pesquisas voltadas à engenharia de rodovias de baixo volume de tráfego (RBVT) concentram-se na avaliação estrutural, uma vez que estas estão diretamente ligadas ao custo do transporte – tempo de viagem, consumo de combustível, desgaste de pneus, manutenção de veículos, etc; e na avaliação funcional – padrões de irregularidade e limites de velocidade, pois influenciam não só diretamente nos custos operacionais mas também na qualidade de conforto ao usuário.

O foco de investimentos em infra-estrutura rodoviária fica, geralmente, voltado às rodovias ditas de alto tráfego. Entretanto, atenção especial deve ser dada também às RBVT, dado à sua importância econômica e social. Elas são responsáveis por permitir o acesso às necessidades básicas, assegurando alimentação, educação e saúde à população rural. Estas rodovias são também responsáveis por grande parte do transporte de matéria-prima – que no Brasil representa 10% do Produto Interno Bruto (PIB) e quase 90% das exportações nacionais, deixando assim evidente a sua importância no panorama nacional de transportes.

Sant’Ana e Bernucci (2004) ressaltam, em seu trabalho, que em vários estados brasileiros o conhecimento das RBVT é precário em vários aspectos, como geometria, tráfego, drenagem e materiais de pavimentação. Ressaltam os autores que os serviços de conservação, igualmente precários ou inexistentes, demandam construções de qualidade, com materiais e processos que concorram para a maior vida útil possível. Coghlan (1999), Visser e Hall (2003) e El Abd et al (2004) chamam a atenção para o fato de que padrões de engenharia para rodovias de alto tráfego não são adequados às RBVT, e que é necessário, portanto, que sejam estabelecidos padrões de construção e manutenção baseados em características peculiares a elas.

Neste contexto, foi proposta a presente tese de doutorado cujo objetivo principal é avaliar e complementar métodos existentes de dimensionamento de rodovias de baixo tráfego, buscando a evolução dos mesmos em uma metodologia empírico-mecanística para dimensionamento de projeto de pavimentos novos e restaurações de RBVT, através da incorporação de modelos elasto-plásticos para previsão da deformação permanente, principal causa de falha destas estruturas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O principal material estrutural constituinte de uma RBVT são os agregados pétreos. Em contraste aos pavimentos flexíveis usados em rodovias de alto volume de tráfego, nas RBVT são os agregados que resistem a altos níveis de tensões, como mostra esquematicamente a Figura 1. É, portanto, imprescindível que estes materiais sejam corretamente descritos para a elaboração de um método de avaliação e/ou projeto com sucesso. Isto é particularmente importante devido ao freqüente emprego de materiais locais de qualidade marginal na construção de RBVT por motivos econômicos.

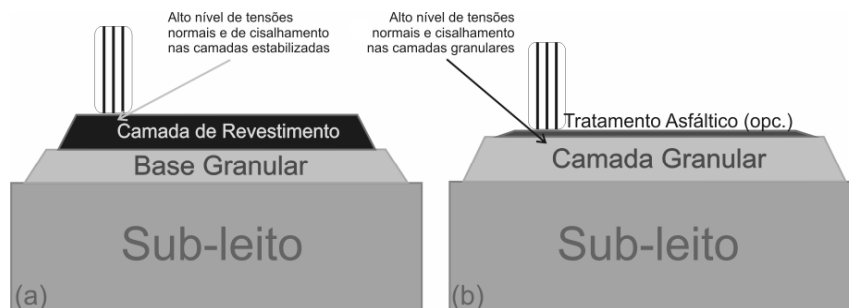


Figura 1: Perfil esquemático de um pavimento rodoviário de (a) alto tráfego (b) baixo tráfego

Os modos principais de falha nestes tipos de pavimento são:

- Deformação permanente – acúmulo de pequenas deformações permanentes sofridas ao longo de cada passagem de roda.
- Deflexões transientes excessivas sob a roda dos veículos – o qual leva ao aumento no consumo de combustível e destruição do tratamento superficial devido às grandes deformações de flexão na superfície.

Há ainda mecanismos de falha subsidiários – todos fortemente dependentes de ambos os modos principais descrito anteriormente – a saber:

- Trincamento e desgaste de tratamentos superficiais
- Perda de agregados pela ação do tráfego em RBVT não seladas
- Formação de buracos
- Corrugação em RBVT não seladas
- Irregularidade excessiva

A maioria dos guias de projeto de pavimentos para rodovias construídas de camadas não estabilizadas (HMSO, 1994; TRL, 1993; Austroads, 1995) especifica os agregados para pavimentos não estabilizados de maneira empírica – através da análise de partículas em relação a sua resistência, durabilidade, limpeza, granulometria e angularidade.

Muitos outros procedimentos de projeto também fazem simplificações similares, realizando o dimensionamento da espessura de camadas granulares baseados em experiências anteriores. A exemplo, muitos métodos de dimensionamento se baseiam no trabalho de Hammit e outros

(Hammit, 1970; Webster e Watkins, 1977; Webster e Alford, 1978) no quais diferentes espessuras de camadas de um agregado particular foram colocados sobre camadas de argilas de variadas resistências (caracterizadas pelo Índice de Suporte Califórnia – ISC) e submetidos ao tráfego. Naturalmente, a replicação dos resultados obtidos nestes estudos para o dimensionamento de outros pavimentos requer suposições de que as características dos materiais usados, clima, temperatura, umidade, tráfego, entre outros, apresentem características muito semelhantes – o que é altamente improvável dada a grande variabilidade dos materiais pétreos, os quais variam enormemente de acordo com sua origem, nível de intempérie e método de exploração.

Mesmo quando métodos de dimensionamento semi-analíticos são empregados (AASHTO, 1992; Shell, 1985), o projeto resultante é baseado em um comportamento dos agregados segundo leis elásticas. Com a introdução do novo guia da AASHTO (2004) modelos mais avançados sobre o comportamento de materiais granulares está disponível, mas estes são baseados no contexto de pavimentos com camadas espessas de revestimento, nos quais as tensões atuantes são pequenas e a ruptura improvável.

As especificações para materiais não estabilizados para RBVT continuam a ser endereçados pela sua forma física, ou em casos mais avançados, pela análise do módulo de resiliência (AASHTO, 1986; Austroads, 1995). Onde tais sofisticadas avaliações das propriedades elásticas dos materiais estão disponíveis para uso em projetos e teorias elástico-lineares são usadas para estimar as espessuras de camadas granulares, apenas critérios elásticos de ruptura dos materiais são considerados, negligenciando, assim como os métodos puramente empíricos, o reconhecimento dos comportamentos inelásticos e plásticos.

Uma vez que um modelo teórico seja desenvolvido para descrever o comportamento elasto-plástico de materiais granulares, este deverá incluir, fundamentalmente, a base para a maioria dos mecanismos listados anteriormente. Com isto, será possível adotar procedimentos mecanísticos para projeto de pavimentos de rodovias de baixo tráfego.

3. OBJETIVOS

Pelas razões já apresentadas, os objetivos desta pesquisa são:

- Desenvolver ou calibrar modelos existentes para previsão da deformação permanente em estruturas de RBVT.
- Reunir o conhecimento existente a cerca do comportamento elasto-plástico de materiais granulares de maneira a viabilizar o desenvolvimento de um procedimento de dimensionamento de RBVT.

4. METODOLOGIA

As etapas a serem realizadas por esta pesquisa podem ser assim sintetizadas:

1. Monitoramento por um período de 18 meses de rodovias florestais para estudo da deformação permanente em função do tráfego, temperatura, chuva, nível do lençol freático e propriedades dielétricas do solo; esta última através da técnica de Percostation¹.

¹ Técnica que utiliza a medição de propriedades dielétricas dos materiais para determinação da susceptibilidade das camadas granulares à água, auxiliando no monitoramento do desempenho das camadas do pavimento com relação à deformação permanente das mesmas. (Saarenketo, 2006)

2. Realização de ensaios de tráfego acelerado para identificação dos modos de ocorrência do surgimento de afundamento de trilha de roda – deformação permanente.
3. Pesquisa dos modelos elásticos não-lineares e elasto-plásticos do comportamento de materiais granulares.
4. Ensaios triaxiais para determinação dos limites de *shake-down* dos materiais utilizados na pesquisa de campo.

A realização do projeto conta com a contribuição de outros estudos focados na pesquisa de rodovias de baixo volume de tráfego. Desta forma, muitos dos modelos a serem estudados e dos dados utilizados para esta pesquisa são resultados de vários projetos, concluídos e em andamento, na Inglaterra, Escócia, Austrália e Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa AlBan, Programa de bolsas de alto nível da União Européia para América Latina, bolsa nº E06D103142BR, e também ao apoio do NTEC – Nottingham Transportation Engineering Centre e Forestry Civil Engineering/Scotland.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1986) *Guide for design of pavement structures* – American Association of State Highway & Transportation Officials, Washington, DC.
- AASHTO (1992) T 294-92 I – *Interim method of test for resilient modulus of unbound granular base/subbase materials and subgrade soils* – SHRP Protocol P46, Washington, DC.
- AASHTO (2004) *Development of the 2002 Guide for Design of New and Rehabilitated Pavement Structures: Phase II*. National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Project 1-37A, Washington, DC.
- AET/GEIPOT (2001) *Statistical Report of Transportation*. Anuário Estatístico dos Transportes (AET) e Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes (GEIPOT), Brasil.
- Austroroads (1995) *A guide to the structural design of road pavements* – New Zealand Supplement.
- Coghlan, G. T. (1999) *Opportunities for Low-Volume Roads* – TRB A5002: Committee on Low-Volume Roads. Unpublished.
- El Abd, A., P. Hornych, D. Breyse, A. Denis, e C. Chazallon (2004) A simplified method of prediction of permanent deformations of unbound pavement layers. *Proceedings of the 6th UNBAR6*, Nottingham/UK.
- Hammitt, G M, (1970) Thickness requirements for unsurfaced roads and airfields, bare base support – US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, TR-S-70-5.
- HMSO (1994) *Design manual for roads and bridges* – Vol 7, HD 25/94, Part 2, Foundations.
- Shell International Petroleum Company (1985) Addendum to the *Shell pavement design manual* – London/UK.
- Saarenketo, T. (2006) *Electrical Properties of Road Materials and Subgrade Soils and the Use of Ground Penetrating Radar in Traffic Infrastructure Surveys* – PhD Thesis, Faculty of Science, University of Oulu, Finland.
- Sant’Ana, W. C. e L. L. B. Bernucci (2004) Contribuição ao Estudo das Rodovias de Baixo Volume de Tráfego do Estado do Maranhão. Relatório de Tese. *Anais do XVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Florianópolis, v. 1, p. 26-29
- TRL (1993) *A guide to the structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries* Overseas Road Note 31, HMSO, London.
- Visser, A. T. e S. Hall (2003) Innovative and Cost-Effective Solutions for Roads in Rural Areas and Difficult Terrain – *Transportation Research Record* 1819, TRB Washington DC, 2003.
- Webster, S L, e S. J. Alford (1978) Investigation of construction concepts for pavements across soft ground – US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, TR-S-78-6.
- Webster, S L e J. E. Watkins (1977) Investigation of construction techniques for tactical bridge approach roads across soft ground – US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, TR-S-77-1.