



## 45ª RAPv / 19º ENACOR

5ª ExpoPavimentação  
1º Fórum Rodoviário, de Trânsito e de Mobilidade  
20 a 23 de Setembro de 2016 - Brasília - DF

ABDER - ABPv - DER/DF

# MODELOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS REFORÇADOS COM GEOGRELHAS

Cássio Alberto Teoro do Carmo<sup>1</sup>; Géssica Soares Pereira<sup>2</sup>; Taciano Oliveira da Silva<sup>3</sup>

## RESUMO

Tem-se observado no meio rodoviário a preocupação entre os projetistas sobre a necessidade da correta avaliação da contribuição estrutural dos diferentes materiais que compõem um pavimento. A contribuição dos materiais tradicionalmente usados na pavimentação foi avaliada na pista experimental da *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). No Brasil o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) desenvolveu um método de dimensionamento de pavimentos que exprime esta contribuição através de coeficientes estruturais.

A crescente utilização dos geossintéticos para reforço de sub-bases e bases de pavimento deve-se ao fato destes produtos permitirem elaborar projetos mais otimizados, com redução da espessura das camadas granulares do pavimento e do tempo de execução da obra. Porém na literatura observa-se a existência de dois modelos para o dimensionamento do pavimento com geossintéticos baseados no modelo a *AASHTO*, que são o TBR (*Traffic Benefit Ratio*) e LCR (*Layer Coefficient Ratio*).

Este artigo tem o objetivo de levantar uma discussão entre estes dois modelos, no que tange a forma da inclusão da geogrelha como reforço da camada de sub-base ou base.

**PALAVRAS-CHAVES:** Projeto de Pavimento. Geogrelha, Modelo *AASHTO*, Pavimento Flexível

## ABSTRACT

It has been noted in the road amid concern among designers about the need for proper evaluation of the structural contribution of the different materials that make up a pavement. The contribution of materials traditionally used in the paving was evaluated in experimental track AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). In Brazil DNIT (National Department of Transport Infrastructure) developed a design method of flooring that expresses this contribution through structural coefficients.

The increasing use of geosynthetics for reinforcement of sub-bases and floor bases is due to the fact that these products be compiled more optimized designs, reducing the thickness of the granular layer of the pavement and the work runtime. However in the literature notes the existence of two models for pavement design with geosynthetics based on the AASHTO model, which are the TBR (Traffic Benefit Ratio) and LCR (Layer Coefficient Ratio).

This article aims to raise a discussion between these two models, regarding the form of the inclusion of geogrid as reinforcement the sub-base or base layer.

**KEYWORD:** Pavement Project. Geogrid, AASHTO Model, Flexible Pavement

---

<sup>1</sup>Huesker Ltda., São José dos Campos, SP; Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, UFV. e-mail: [cassio@huesker.com.br](mailto:cassio@huesker.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, MG, Graduanda em Engenharia Civil. e-mail: [gessica.soares@ufv.br](mailto:gessica.soares@ufv.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, MG, Professor Doutor. E-mail: [taciano.silva@ufv.br](mailto:taciano.silva@ufv.br)

## 1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento, construção e restauração de pavimentos demanda uma elevada quantidade de recursos dentro da infraestrutura de transportes. Concomitantemente, fatores como o crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico têm proporcionado um aumento considerável da demanda por novas rodovias.

Segundo o relatório da Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2015) a malha rodoviária nacional possui 1.720.607 km de extensão, dos quais apenas 213.299 km são pavimentados, ou seja, apenas 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada.

Sabendo-se desta grande necessidade de implantação de novas rodovias, o emprego de geossintéticos como reforço de pavimentos pode melhorar a capacidade de suporte da estrutura em comparação ao não reforçado, além de permitir uma melhor compactação da camada granular sobre um solo de baixa capacidade. Em algumas situações o geossintético pode também exercer a função de separação, sendo essencialmente importante no caso de cargas repetidas, reduzindo o agulhamento do material granular no subleito e o transporte de material fino do subleito para a camada granular. Dessa forma, é garantida a manutenção das características de resistência e durabilidade previstas.

As estruturas de pavimentos flexíveis não reforçadas têm sido dimensionadas no Brasil, em geral, a partir da aplicação dos métodos mecanísticos-empíricos do DNER (1996) ou os modelos da AASHTO (1993).

No caso de pavimentos reforçados com geossintéticos, vários autores propuseram diversos métodos, tais como: Giroud e Noiray (1981), Houlsby e Jewell (1990), Burd (1995), Palmeira (1998) e Giroud e Han (2004a e b), baseados principalmente em modelos mecânicos. Além destes métodos dois outros modelos foram propostos com base no modelo da AASHTO, que são o TBR (Traffic Benefit Ratio) e o LCR (Layer Coefficient Ratio).

## 2 GEOSINTÉTICOS PARA REFORÇO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

Segundo a norma NBR 12553 (ABNT, 2003), geossintéticos é a denominação genérica de produtos poliméricos sintéticos ou naturais industrializados, desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas, que desempenham uma ou mais funções. São várias as classificações dos tipos de geossintéticos, as com aplicações em obras de pavimentação são: geotêxteis, geogrelhas, geocompostos, películas plásticas empregadas em pavimentos rígidos, geocélulas e geotubos.

Considerando o propósito deste trabalho, serão definidos os geotêxteis, as geogrelhas e os geocompostos, sendo estes os mais apropriados para uso em reforço da camada de base e sub-base de estruturas de pavimentação.

- a) Geotêxteis (GT), a NBR 12553 (ABNT, 2003) defini o geotêxtil como um produto têxtil, permeável, que pode desempenhar diversas funções em obras geotécnicas em virtude de suas propriedades mecânicas e hidráulicas. Os geotêxteis são subdivididos em tecidos (são produzidos pelo entrelaçamento de fios, filamentos, laminetes ou outros componentes) e não tecidos (são produzidos por fibras cortadas ou filamentos contínuos, que são distribuídos aleatoriamente na estrutura e, que podem ser interligados por processos de agulhamento ou térmico). A Figura 01 mostra um exemplo de aplicação de um geotêxtil como camada de separação em um pavimento.



Figura 01 – Aplicação do geotêxtil tecido como camada de separação.

- b) Geogrelhas (GG), segundo a NBR 12553 (ABNT, 2003) é um produto em forma de grelha, com função predominante de reforço, cujas aberturas permitem a interação do meio em que estão confinadas, constituído por elementos resistentes à tração, sendo considerado unidirecional quando apresenta elevada resistência à tração apenas em uma direção e bidirecional quando apresenta elevada resistência à tração nas duas direções principais (ortogonais). Em função do processo de fabricação as geogrelhas podem ser extrudadas, soldadas ou tecidas. A Figura 3 mostra uma geogrelha aplicada para reforço da base do pavimento.



Figura 01 – Aplicação da geogrelha como reforço camada de base.

- c) Geocomposto (GC) segundo a NBR 12553 (ABNT, 2003) é um produto formado pela superposição ou associação de um ou mais geossintéticos entre si ou com outro produto,

geralmente para desempenhar uma função específica. A Figura 3 mostra um tipo de geocomposto, que é a união de uma geogrelha com um geotêxtil.



Figura 03 – Aplicação de um geocomposto para reforço de base de pavimento.

### **3 EFEITO DA GEOGRELHA COMO CAMADA DE REFORÇO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL**

O uso de geogrelha como reforço de base de pavimentos, apresenta-se como uma solução viável em relação às soluções como substituição de camadas de baixa capacidade de suporte ou a construção de espessas camadas de base.

Para Giroud e Han (2004), o uso de geogrelhas na interface base/subleito proporciona uma melhora na compactação da camada de base, sendo que esta melhora acarretaria ainda em outro benefício, ao melhorar a capacidade de suporte da base. Ressaltam ainda, a necessidade de maiores estudos para avaliar a eficiência do reforço em melhorar as condições da camada reforçada.

Segundo Klein et al. (2003), a presença de uma geogrelha na interface entre a camada a ser compactada e o solo de baixa capacidade de suporte, altera basicamente a condição de rigidez na interface, o que aliado ao efeito de confinamento dado pela abertura das malhas da geogrelha, permite um maior aproveitamento da energia aplicada, implicando em maior eficiência do processo de compactação.

Desta forma, o reforço em sistemas de bases de pavimento promove a melhoria da capacidade de suporte do subleito. O mecanismo do funcionamento da estrutura com reforço apresenta basicamente dois conceitos. O primeiro refere-se ao reforço estrutural através da redução das tensões cisalhantes transmitidas ao subleito. O segundo conceito refere-se ao efeito membrana, que considera o efeito de grandes deformações.

A redução das tensões cisalhantes, segundo o *U.S. Army Corps of Engineers* (2003), é feita através da mobilização de sua resistência à tração, a geogrelha atua no sentido de se opor à deformação lateral da camada de base, confinando o material que constitui esta camada. Este efeito é importante durante a compactação das camadas de base (camadas acima do nível da geogrelha), pois garante maior eficiência ao processo, resultando em camadas com maior capacidade de suporte. A geogrelha atua como uma plataforma de compactação sobre um subleito de baixa capacidade.

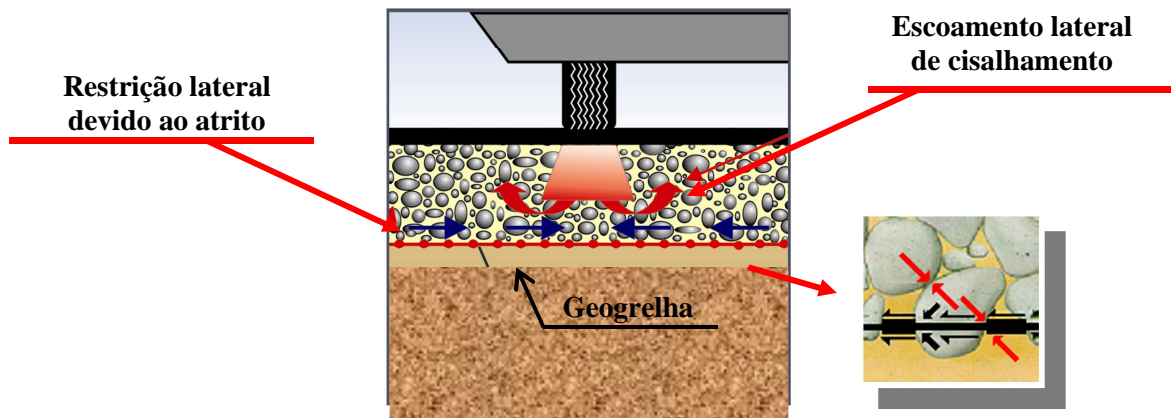


Figura 04 – Efeito confinante do agregado pela geogrelha (adaptado de U.S. Army Corps of Engineers, 2003).

O efeito membrana, segundo o *U.S. Army Corps of Engineers* (2003), se dá através do chamado efeito membrana, pela deformação vertical do subleito, o que leva a geogrelha a uma deformação no seu sentido de tracionamento mobilizando sua capacidade de resistência à tração (uma vez que esta apresenta boa ancoragem na camada de solo), o reforço é capaz de aumentar a capacidade estrutural do aterro, e distribuir melhor a carga vertical sobre o subleito, especialmente no caso de subleito de baixa capacidade de suporte. O aumento da capacidade estrutural do pavimento leva à diminuição dos níveis de tensão vertical sobre o subleito de baixa capacidade, minimizando os recalques totais.

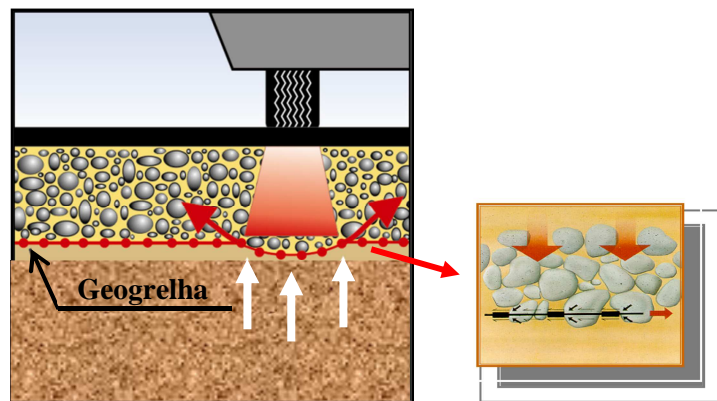


Figura 04 – Efeito membrana da geogrelha (adaptado de U.S. Army Corps of Engineers, 2003).

Além destes dois mecanismos, a geogrelha torna a camada de base mais rígida garantindo uma distribuição de tensões verticais mais uniforme. Com isso, minimiza a solicitação sobre o subleito e os recalques resultantes, especialmente em situações de baixa capacidade portante.

#### 4 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO CONSIDERANDO O USO DE GEOGRELHA

##### 4.1 Modelo da AASHTO modificado – TRB (*Traffic Benefit Ratio*)

O primeiro método de dimensionamento de pavimentos reforçados com geossintéticos, baseado no Guia da AAHTO, utiliza o valor do *Traffic Benefit Ratio* (TBR) para considerar a melhoria do desempenho do pavimento com o uso do reforço. Esta abordagem é baseada em resultados experimentais, e o indicador TBR, é definido, conforme sugerem Trichês e Bernucci (2015) e Perkins (2001), por:

$$TBR = \frac{N_{geo}}{N} \quad (1)$$

Em que:

- $N_{geo}$ : número de repetições de um eixo padrão que produz um determinado ATR no pavimento com geossintético; e  
 $N$ : número de repetições do eixo padrão que produz o mesmo ATR no pavimento sem geossintético.

O valor de TBR é inserido na equação básica da AASHTO. Pela proposta, a estrutura reforçada com geossintéticos é dimensionada, a partir da correção do número de repetições pelo indicador TBR, obtendo-se um número estrutural necessário menor do que para o caso não reforçado, o que implica em redução na espessura das camadas:

$$\log\left(\frac{W_{18}}{TRB}\right) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN_R + 1) + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN_R+1)^{519}}} - 2,32 \cdot \log M_R - 8,27 \quad (2)$$

Em que:

- $\Delta PSI$ : perda de serventia esperado durante o período de projeto ( $\Delta PSI = P_0 - P_f$ );  
 $P_0$ : índice de serventia inicial;  
 $P_f$ : índice de serventia final;  
 $w_{18}$ : número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 82 kN, calculado com os coeficientes da AASHTO;  
 $Z_R$ : desvio padrão para a probabilidade de êxito que se quer para a estrutura dimensionada;  
 $S_0$ : desvio padrão que leva em conta as incertezas das variáveis medidas e do processo construtivo;  
 $MR$ : Módulo de Resiliência (psi); e  
 $SN_R$ : número estrutural considerando a contribuição da geogrelha.

A equação básica da AAHTO foi desenvolvida por meio dos resultados obtidos na AASHTO Road Test sendo, portanto, um método empírico. A inclusão do índice TBR diretamente na equação da AASHTO é questionável, pois se assume que a condição de ensaio representa todas as condições de campo.

Após determinado a SN (número estrutura) que qualifica a resistência estrutural do pavimento submetido a um tráfego sob uma determinada combinação de solo suporte, nível de confiabilidade e serventia. O número estrutural (SN) requerido é convertido nas espessuras das camadas constituintes do pavimento, por meio de coeficientes estruturais apropriados que representam a resistência relativa dos materiais a serem utilizados na construção, sendo calculado por:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \quad (3)$$

Em que:

- $a_i$ : coeficiente estrutural da camada  $i$ ;  
 $D_i$ : [pol] é a espessura da camada  $i$ ; e  
 $m_i$ : coeficiente de drenagem da camada  $i$ .

Os números subscritos 1 2 e 3 correspondem às camadas de revestimento, base e sub-base respectivamente.

Segundo AASHTO (1993), o coeficiente estrutural da camada é uma medida da habilidade relativa do material em atuar como um componente estrutural do pavimento. Pesquisas indicam que diversos fatores influenciam no coeficiente estrutural, como por exemplo: espessura da camada, rigidez do solo suporte e posição na estrutura do pavimento.

Para a camada dos coeficientes estruturais ( $a_i$ ) das camadas são utilizadas as seguintes equações. O coeficiente estrutural ( $a_1$ ) da camada de revestimento asfáltico é determinado pela equação 4. Já para a camada de base ( $a_2$ ) será utilizada a equação 5 e para a camada de sub-base ( $a_3$ ) a equação 6.

$$a_1 = \frac{E_{ca}}{1,43 * E_{ca} + 27200} \quad (4)$$

$$a_2 = 0,249 * \log E_b - 0,977 \quad (5)$$

$$a_3 = 0,227 * \log E_{sb} - 0,839 \quad (6)$$

Em que:

- $E_{ca}$ : Módulo resiliente da camada asfáltica, em  $\text{kgf/cm}^2$ ;  
 $E_b$ : Módulo da camada de base, em psi ( $1 \text{ kgf/cm}^2 = 14,22725 \text{ psi}$ ); e  
 $E_{sb}$ : Módulo da camada de sub base, em psi ( $1 \text{ kgf/cm}^2 = 14,22725 \text{ psi}$ ).

## 4.2 Modelo da AASHTO modificado – LCR (*Layer Coefficient Ratio*)

Em outra abordagem apresentada, por Zhao e Foxworthy (1999) e Baillie (2002), é proposto incluir a contribuição estrutural da geogrelha por meio da correção do coeficiente estrutural da camada reforçada por um fator denominado de Layer Coefficient Ratio (LCR).

O conceito de LCR foi introduzido a mais de uma década, baseado no mecanismo de restrição lateral que a geogrelha proporciona na camada de base (Zhao e Foxworthy, 1999). Com o intuito de se obter um parâmetro de dimensionamento, LCR, foram realizados ensaios laboratoriais.

Para considerar a melhoria do desempenho do pavimento com o uso do reforço. Esta abordagem também é baseada em resultados experimentais, e o indicador LCR, é definido, conforme equação 7.

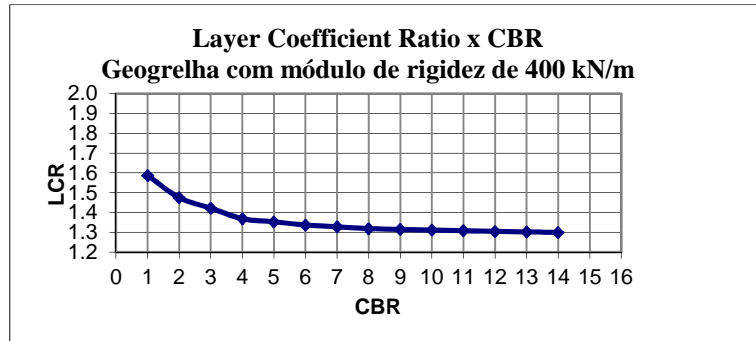
$$LCR = \frac{SN_r - \alpha_1 * D_1}{SN_u - \alpha_1 * D_1} \quad (7)$$

Em que:

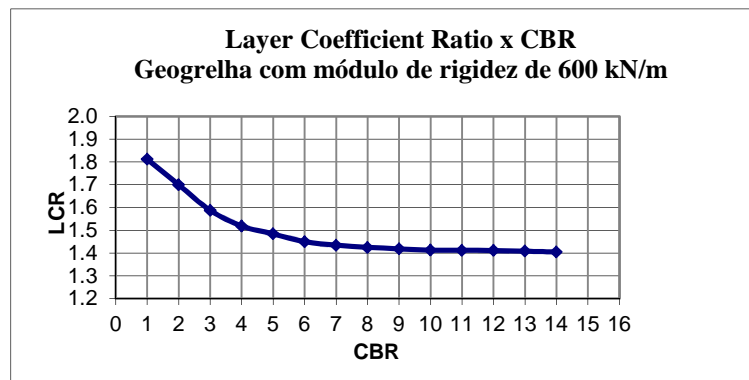
- $SN_r$ : números estruturais para o caso reforçada;  
 $SN_u$ : número estrutural para o pavimento sem reforço;  
 $\alpha_r$  e  $\alpha_u$ : coeficientes obtidos em laboratório.



Baillie (2002) desenvolveu duas curvas relacionando o fator de melhoria de desempenho do pavimento, LCR, com o CBR do subleito. Na Figura 05, está demonstrada a curva proposta para uma geogrelha tecida bidirecional de polipropileno de alto módulo e baixa fluência, com módulo de rigidez nominal em ambas as direções igual a 400kN/m, e deformação na ruptura inferior a 8%. Já na Figura 06, está demonstrada a curva proposta para a geogrelha com módulo de rigidez nominal em ambas as direções igual a 600kN/m, e deformação na ruptura inferior a 8%.



**Figura 05** – Relação LCR versus CBR para a geogrelha tecida bidirecional com módulo de rigidez de 400 kN/m.



**Figura 06** – Relação LCR versus CBR para a geogrelha tecida bidirecional com módulo de rigidez de 600 kN/m.

O parâmetro LCR é incluso no dimensionamento aumentando o coeficiente estrutural da camada reforçada, inserindo-se o parâmetro LCR na equação do número estrutural (SNR) apresentado pela AASHTO. Neste modelo é possível determinar a camada a ser reforçada, conforme equações 8, 9 ou 10.

- a. Reforço da camada de base;

$$SN_R = a_1 \cdot D_1 + LCR \cdot a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (8)$$

- b. Reforço da camada de sub-base;

$$SN_R = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + LCR \cdot a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (9)$$

c. Reforço das camadas de base e sub-base;

$$SN_R = a_1 \cdot D_1 + LCR \cdot a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + LCR \cdot a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (10)$$

Em que:

- $a_i$ : coeficiente estrutural da camada  $i$ ;
- $D_i$ : [pol] é a espessura da camada  $i$ ;
- $m_i$ : coeficiente de drenagem da camada  $i$ ; e
- LCR: parâmetro de melhoria da camada.

Os coeficientes estruturais das camadas de revestimento, base e sub-base são calculados da mesma forma descrito nas equações 4, 5 e 6.

Como o parâmetro de melhoria da camada LCR entra apenas na equação do número estrutural (SN), a equação básica da AASHTO não sofre nenhuma alteração.

$$\log(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN + 1) + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2-1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{519}}} - 2,32 \cdot \log M_R - 8,27 \quad (11)$$

Em que:

- $\Delta PSI$ : perda de serventia esperado durante o período de projeto ( $\Delta PSI = P_0 - P_f$ );
- $P_0$ : índice de serventia inicial;
- $P_f$ : índice de serventia final;
- $w_{18}$ : número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 82 kN, calculado com os coeficientes da AASHTO;
- $Z_R$ : desvio padrão para a probabilidade de êxito que se quer para a estrutura dimensionada;
- $S_0$ : desvio padrão que leva em conta as incertezas das variáveis medidas e do processo construtivo;
- MR: Módulo de Resiliência (psi); e
- SN: número estrutural requerido.

## 5 CONCLUSÃO

Quanto à utilização dos modelos para o dimensionamento de pavimentos reforçados com geogrelha, podemos verificar que o parâmetro TRB é aplicável diretamente na equação básica da AASHTO. No entanto, no caso do LCR o fator de melhoria é aplicado no número estrutural da camada a ser reforçada.

Porém para os dois modelos descritos existem certa complexidade para a determinação deste parâmetro, uma vez que estes se baseiam na relação entre o número equivalente de passagens e o valor do afundamento em trilha de roda correspondente, pois não há relação direta entre PSI e ATR.

Estes modelos baseados na equação da AASHTO são equações empíricas e para tanto o monitoramento e avaliação de pavimentos reforçados possibilitam o levantamento de informações acerca do comportamento estrutural e conseqüente influência do reforço na estrutura do pavimento. Estes monitoramentos são necessários para a calibração destes modelos de dimensionamento de pavimentos reforçados com geossintéticos.

Carmo et al. (2012) realizou o monitoramento de um trecho experimental reforçado com geogrelha, no qual este pavimento foi dimensionado considerando o fator de melhoramento LCR. Concluiu-se que o método utilizado para o dimensionamento da estrutura mostrou-se bastante eficiente, indicando uma estrutura delgada e com excelente coeficiente estrutural.

Segundo Ferreira (2008), foi executado na rodovia Presidente Dutra, próximo ao km 31 um trecho com geogrelha para reforço da sub-base. Observou-se que o uso do reforço apresentou um ganho estrutural imediato para o pavimento, durante o período de construção, pelo fato dos módulos apresentados no trecho reforçado com a geogrelha J-600 (módulo de rigidez de 600 kN/m) serem adequados para um rachão bem compactado. Verifica-se que o uso do reforço atuou durante o processo de compactação da camada de rachão, apesar do baixo inter-travamento ocorrido.

Kakuda (2011) realizou ensaios em laboratório de grande dimensão simulando a estrutura de um pavimento e concluiu que a utilização de geogrelha no reforço da camada de base proporciona a redução de deformações elásticas e permanentes. Em geral, o posicionamento da geogrelha na interface com o subleito é o que mais contribui para a redução das deformações. Acredita-se que o fato seja decorrente das tensões horizontais ali observadas serem de tração, condição para a mobilização do reforço e ainda a sua contribuição ao evitar o cravamento do agregado no subleito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (1993). **Guide for Design of Pavement Structures**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C. 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12553: Geossintéticos – Terminologia**. Rio de Janeiro. 2003. 3 p.

BAILLIE, B. (2002). **“Fornit, Biaxial Geogrid Reinforcement. Reference manual for the design of flexible pavement structures”**. Technical Reference Fornit-DN-1. Huesker Inc. 2002.

BURD, H. J. (1995) **“Analysis of Membrane Action in Reinforced Unpaved Roads”**. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 32, 1995, pp. 946 – 956.

CARMO, C.A.T e D’ÁVILLA, C.A. (2012). **“Pavimento Delgado Reforçado com Geogrelha, solução para Vias Urbanas”**. 18ª Reunião Anual de Pavimentação – RPU. Anais. 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de Rodovias 2015**. Relatório Gerencial. Brasília/DF. 2015. 420 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNER (1996). **Manual de pavimentação**. DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, Rio de Janeiro 1996.

FERREIRA, C.J. (2008). **“Avaliação estrutural de pavimento experimental reforçado com geogrelha”**. Dissertação de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos-SP. 151 p.

GIROUD, J. P.; NOIRAY, L. (1981) **“Geotextile – Reinforced Unpaved Road Design”**. Journal Geotechnical Eng. Div., ACE, Vol. 107, GT9, 1981, pp. 1233-1254.

GIROUD, J. P.; HAN, J. 92004a) **“Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads – I. Development of Design Method”**, Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering, v. 130, Nº 8, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2004, pp. 775-786.

GIROUD, J. P.; HAN, J. (2004b) “**Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads – II. Calibrations and Applications**”, Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering, v. 130, Nº 8, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2004, pp. 787-797.

HOUSBLY, Guy T.; JEWELL, Richard A.(1990) “**Design of reinforced unpaved roads for small rut depths**”. In: International Conference on Geotextiles Geomembranes and Related Products, 4, Vol. 1, 1990, p. 171-176.

KAKUDA, F.M.; PARREIRA, A.B. e FABBRI, G.T.P. (2011). “**Análise de um pavimento reforçado com geossintético a partir de resultados de ensaios em equipamentos de grandes dimensões**”. Revista Transportes v. 19, n. 3. p. 28-34

KLEIN, R.J.; VIDAL, D. M.; RODRIGUES, R.M. (2003) “**Estudo dos Efeitos nas Propriedades do Material Compactado em Obras de Reforço de Base de Pavimentos com Geossintéticos**”. In: IV SIMPÓSIO Brasileiro de Geossintéticos, Porto Alegre, 2003. v. 1. p. 1-6.

PERKINS, S. W. “**Mechanistic – empirical modeling and design model development of geosynthetic reinforced flexible pavements**”, Final Report, Department of Civil Engineering, Montana State University, Montana, 2001, 171p.

TRICHÊS, G. E; BERNUCCI, L. B. (2015). “**Reforço de Base de Pavimentos**”. In: Vertematti, J.C.. Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: Blucher. 2015. p. 201-221.

US. Army Corps of Engineers (2003). **Use of Geogrid in Pavement Construction**. Technical Report: ETL 1110-1-189. Washington, D.C. 2003.

ZHAO, A.; FOXWORTHY, P.T. “**Geogrid Reinforcement in Flexible Pavements: A Practical Perspective**”, Geotechnical Fabrics Report, May, pp.28-34, 1999.