

Procedimentos de Execução e Análise de Pavimentos Experimentais Reforçados com Geossintéticos

Carla Janaina Ferreira

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, carlajanaf@yahoo.com.br

Delma de Mattos Vidal

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, delma@ita.br

Cássio Alberto Teoro do Carmo

Huesker Ltda., cassio@huesker.com.br

Valéria Cristina de Faria

Grupo CCR , valeria.faria@grupoccr.com.br

RESUMO: O pavimento é uma estrutura bastante complexa no que diz respeito ao seu dimensionamento e à previsão de seu desempenho futuro, por serem dependentes da interação de uma série de fatores, tal como: tráfego, clima, processos construtivos, condições de drenagem, estrutura do pavimento e materiais de construção utilizados. Como consequência, os métodos de dimensionamento existentes são, de forma geral, de natureza empírica. Atualmente, há uma crescente aplicação de geossintéticos no reforço de bases e sub-bases em obras viárias por permitirem elaborar projetos mais otimizados, com redução da espessura das camadas do pavimento e do tempo de execução da obra, uma melhor compactação da camada reforçada, além de um melhor controle de qualidade de todo o processo, gerando uma boa relação custo-benefício. A inclusão do geossintético nos métodos de dimensionamento de pavimentos pode ser realizada pela inclusão de parâmetros, que quantificam o ganho estrutural obtido pelo uso do reforço, nos métodos de dimensionamento tradicionais. Desta forma, mostra-se necessário a obtenção de um conjunto de dados que possibilitem a calibração experimental dos métodos de dimensionamento em função dos diversos fatores que influenciam no seu desempenho. Neste trabalho é apresentada algumas recomendações relativas à execução e análise de pavimentos experimentais, exceto em escala reduzida. Para tanto, foram analisados dois trechos experimentais, sendo o primeiro executado por Cancelli e Montanelli (1999) e o segundo executado pelos autores deste trabalho na Rodovia Presidente Dutra.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Pavimentos, Dimensionamento, Trechos Experimentais.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os diversos métodos existentes para o dimensionamentos de pavimentos reforçados com geossintéticos, cabe destacar aqueles baseados no método da AASHTO. Nestes métodos, considera-se o benefício obtido pelo reforço ao incluir parâmetros que quantificam o ganho estrutural proporcionado pelo reforço, sendo os mais utilizados o TBR (*Traffic Benefit Ratio*) e o LCR (*Layer Coefficient Ratio*).

Como os métodos existentes são, de forma geral, de natureza empírica ou mecanística-empírica é necessária a calibração das equações utilizadas para a região onde será executado o pavimento e em função do tipo de geossintético, posicionamento do reforço, dentre outros fatores. Para tanto, é necessário que seja formado um banco de dados a partir de trechos experimentais ou trechos em condições reais de tráfego, visando obter equações condizentes com a realidade brasileira.

Foram analisados os procedimentos executivos e os resultados obtidos de dois trechos experimentais: o primeiro realizado por Cancelli e Montanelli (1999) e o segundo realizado por Ferreira (2008). A partir desta análise, foram elaboradas recomendações para a execução e análise de novos trechos experimentais ou trechos submetidos às condições reais de tráfego.

2 EXPERIMENTO DE CANCELLI E MONTANELLI (1999)

Cancelli e Montanelli (1999) apresentam um estudo realizado em escala real (Figura 1) conduzido em diversas seções de pavimentos reforçadas e não reforçadas onde as seguintes variáveis foram investigadas: resistência do subleito, espessura da camada granular, tipo de geossintético e número de passagem do eixo equivalente padrão de 8,2 tf.

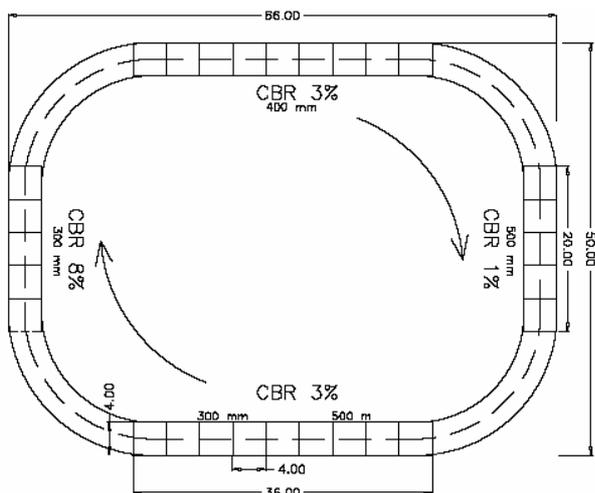


Figura 1. Trecho experimental (Cancelli e Montanelli, 1999).

Nas partes retilíneas do trecho foi escavada uma trincheira de 1,2 m de profundidade. Subseqüentemente, o solo de subleito foi compactado com uma espessura de 0,70 m e CBR de 1, 3 e 8 %. Nas seções reforçadas, a geogrelha foi instalada diretamente sobre a camada do subleito.

Posteriormente, compactou-se em camada única o material granular bem graduado, com espessuras de 0,30 m, 0,40 m e 0,50 m. Finalizando, uma camada de 75 mm de concreto asfáltico foi aplicada como revestimento. Para a simulação do tráfego foi utilizado um caminhão com eixo duplo traseiro de 90 kN, eixo simples dianteiro de 45 kN e inflação dos pneus igual a 800 kPa.

Neste estudo foram utilizados três tipos de geossintéticos: dois tipos de geogrelhas biaxial extrudada de polipropileno e um geotêxtil tecido. Como resultados, foram obtidos os valores de afundamento em trilha de roda (ATR) em função do número de passagens do eixo padrão (N).

Ferreira (2008) determinou os valores de TBR e LCR a partir dos métodos de cálculo apresentados por Trichês e Bernucci (2004) e Zhao e Foxworthy (1999), respectivamente. Verificou-se que com os valores de ATR *versus* N é possível apenas a obtenção do parâmetro TBR, enquanto que para a obtenção do LCR é necessário medidas diretas da capacidade estrutural das camadas do pavimento.

A mesma autora recomenda a utilização de um modelo desenvolvido pela OCDE (1991) como método de dimensionamento por relacionar de forma direta o valor de ATR pelo número de passagens, entretanto é ressaltada a necessidade de calibração da equação.

3. EXPERIMENTO DE FERREIRA (2008)

Ferreira (2008) apresenta um estudo de um trecho experimental executado, em novembro de 2006, na Rodovia Presidente Dutra (BR-116) sentido São Paulo – Rio de Janeiro, pista Norte, entre as estacas 31+290 e 30+150, próximo às cidades de Cachoeira Paulista-SP e Cruzeiro-SP.

O trecho possui uma extensão total de 390 m, sendo dividido em três seções: duas reforçadas com geogrelhas de rigidez distintas e uma não reforçada, como pode ser visto na Figura 2. Foram utilizadas as mesmas espessuras de camadas ao longo das três seções estudadas, como pode ser visto na Figura 3.



Figura 2. Divisão do trecho experimental

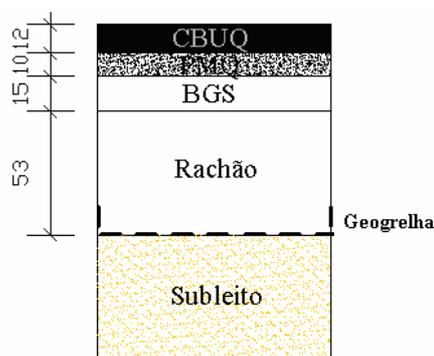


Figura 3. Seção do trecho experimental (CBUQ = Concreto Betuminoso Usinado à Quente; PMQ = Pré Misturado à Quente; BGS = Brita Graduada Simples). Medidas em centímetros.

Para avaliação do pavimento foram executados dois ensaios de viga eletrônica (em nov/2006 e maio/2008) e ensaio de FWD (out/2008). Com os resultados deflectométricos obtidos foram realizadas retro-análises, por meio do programa LAYMOD5, para a obtenção dos módulos de elasticidade efetivo “*in situ*”.

A retro-análise dos dados obtidos dos dois ensaios realizados com a viga eletrônica, apresentou erros, de forma geral, superiores a 50%. Ao verificar os dados de deflexão medidos verificou-se que ocorreram problemas na leitura dos dados pelo LVDT ao medir o mesmo valor para pontos distintos, em função da declividade do pavimento, passagem do tráfego nas outras faixas da rodovia durante a execução do ensaio, dentre outros fatores.

Ferreira (2008) ressalta a possibilidade de obtenção do parâmetro LCR a partir dos resultados da retro-análise dos resultados do FWD. Os módulos obtidos apresentam as condições reais de campo e possibilitam o maior entendimento do comportamento estrutural do pavimento.

Durante a execução deste trecho foi verificada a importância do inter-travamento proporcionado pela geogrelha e da granulometria do material sob a qual foi instalado o reforço.

3. RECOMENDAÇÕES

3.1 Introdução

A partir da análise da execução e resultados obtidos nos trechos experimentais descritos anteriormente, foram elaboradas recomendações para execução e análise de trechos experimentais que possam contribuir para a formação de um banco de dados que possibilite a obtenção de parâmetros melhor calibrados

para o dimensionamento de pavimentos reforçados com geossintéticos. Estas recomendações não se aplicam diretamente a modelos em escala reduzida

3.2 Materiais

Os materiais a serem observados na construção de um trecho experimental são: geossintético, material de subleito e camadas constituintes do pavimento. Para a escolha do elemento de reforço a ser utilizado recomenda-se observar a rigidez em pequenas deformações e a abertura das malhas em função da granulometria da camada de base, pois é de fundamental importância que ocorra o inter-travamento da camada reforçada. Caso seja utilizado um geotêxtil é recomendável avaliar a interação entre as interfaces com o subleito e com a camada reforçada.

Quanto à camada de subleito, sabe-se que quanto maior a capacidade portante do subleito menor é a influência do geossintético. Os experimentos vêm mostrando que o reforço de subleitos com CBR superiores a 8% implica em pequeno ganho, pelo menos com os geossintéticos testados até o momento.

A camada de base deve-se apresentar granulometria que permita o melhor inter-travamento com o geossintético, observando-se a relação entre a granulometria e a abertura da malha (para o caso de geogrelhas). O reforço posicionado na base da camada reforçada tem por objetivo maximizar sua eficiência frente a um sub-leito pouco portante e, portanto, não é interessante que esta camada seja excessivamente deformável. O ideal seria adotar uma base em brita bem graduada ou solo laterítico com boa capacidade de suporte quando compactado.

Para possibilitar uma boa interpretação dos resultados e uma análise confiável é importante que os materiais apresentem boa homogeneidade em cada trecho.

3.3 Escolha do Local

São possíveis duas maneiras de execução do trecho experimental: a primeira em trechos submetidos às condições reais de tráfego e a segunda em trechos executados com simulação do tráfego.

No caso de trechos em condições reais de tráfego, para a escolha do local a ser executado o trecho experimental, recomenda-se realizar ensaios de deflexão para se determinar trechos homogêneos que apresentem elevada deflexão. As seções não-reforçadas, neste caso, apresentarão camadas com espessuras

superiores às das seções reforçadas, pois em se tratando de condições reais de tráfego não recomenda-se que o pavimento chegue ao término da sua vida útil em pouco espaço de tempo. Tanto para o trecho em condições reais e o trecho simulado recomenda-se buscar regiões com baixa ou nenhuma declividade.

Para o trecho simulado, se no local a ser executado não houver subleito com baixa capacidade de suporte, recomenda-se a simulação do mesmo por meio da escavação de uma caixa e compactação de uma camada de solo com espessura superior a 50 cm e a proteção desta camada por meio de geomembrana para evitar perda de umidade e conseqüente aumento de sua capacidade portante.

Para ambos, recomenda-se que cada seção apresente largura superior a 3 m, o que permite a avaliação das trilhas de roda interna e externa do pavimento, e comprimento superiores a 20 m para permitir obter pelo menos cinco pontos de medidas de deflexão (considerando comprimento da bacia de deflexão total de 2,4 m) e espaçamento das interfaces com as seções adjacentes de 2 m.

3.4 Ensaios Necessários

Os ensaios que podem ser empregados para obtenção de dados do trecho experimental são:

- ✓ Ensaio para determinação da deformação plástica do pavimento (afundamento em trilha de roda);

- ✓ Ensaio para a determinação das deflexões do pavimento, como a viga eletrônica e o FWD. Cabe ressaltar que a viga Benkelman é recomendada apenas para determinar a deflexão máxima e o raio de curvatura e ao utilizar a viga eletrônica sugere-se acompanhar as medidas obtidas durante a execução do ensaio para monitorar possíveis falhas no ensaio;

- ✓ Ensaio para determinação do módulo resiliente “in situ” durante a construção do trecho, por exemplo com o equipamento Geogauge;

- ✓ Controle de compactação das camadas, por meio de ensaios de determinação de umidade, Dynamic Cone Penetration (DCP) para solos não-granulares, densidade seca, dentre outros.

- ✓ Ensaios de caracterização das camadas de solo e do subleito, tal como CBR e granulometria e caracterização da mistura asfáltica, tal como massa específica aparente, vazios de ar e resistência à tração;

- ✓ Acompanhamento das condições climáticas da região de estudo (pelo menos temperatura e chuvas);

- ✓ Avaliação superficial do pavimento por meio da avaliação do surgimento de trincas ao longo da vida útil do pavimento.

3.5 Procedimento Executivo

A construção do trecho executado deve-se ser realizada da forma convencional, sendo recomendado:

- ✓ Controle da homogeneidade e da espessura dos materiais lançados;

- ✓ Controle da compactação, sendo necessário o mesmo número e direção de passagens do equipamento de compactação ao longo de todo o trecho e realização de ensaios que permitam o controle de compactação em profundidade;

- ✓ Ancoragem do elemento de reforço a ser utilizado.

3.6 Análise dos Dados

3.6.1 Introdução

Em função dos ensaios realizados, Recomenda-se a análise dos dados em duas linhas, a primeira ao medir a deformação plástica do pavimento analisando por meio do parâmetro k e a segunda a partir dos ensaios de deflexão analisando o LCR.

3.6.2 Medidas de Deformação Plástica

As medidas de ATR e número equivalente de passagens obtida podem ser analisados utilizando uma equação desenvolvida em um estudo experimental na Pista Circular de Nantes pela OCDE (1991). Cabe ressaltar que é necessária a calibração desta equação para a região em estudo.

A análise detalhada de resultados de medida de deformações plásticas pode ser vista de

forma detalhada em Ferreira (2008). Será descrito a seguir um resumo do procedimento recomendado.

1. Conhecendo-se o valor de ATR (mm) para um valor N de passagens, que corresponde a w_p e N na equação 1, obtêm-se o valor de “a”. Sendo que F_c corresponde a um fator de calibração regional. Rodrigues (2007), por meio dos dados apresentados por Marcon (1996) encontrou para as rodovias de Santa Catarina um valor de F_c médio de 1,98 e w_0 o intercepto que caracteriza a fase de consolidação logo após a abertura ao tráfego;

$$w_p = F_c (w_0 + aN^{0,5}) \quad (1)$$

2. Como pode ser visto na equação 2 o parâmetro conhecido “a” é função do CBR do subleito, obtido por meio de ensaios, e de HT:

$$a = 5,0 \cdot 10^{16} \cdot H_T^{-8,87} \cdot CBR^{-4,73} \quad (2)$$

onde CBR é a capacidade de suporte estrutural do subleito em percentagem;

3. Com o valor de HT, obtido no item anterior, e h_1 e h_2 que correspondem as espessuras da camada de revestimento e base em [cm], obtêm-se o valor de k, por meio da equação 3;

$$H_T = 2h_1 + h_2 * k \quad (3)$$

4. Desta forma obtêm-se os valores de k para as seções reforçadas que podem ser utilizados diretamente no dimensionamento por meio da equação 1 e quantificar o benefício do uso do elemento de reforço ao comparar os valores de k obtidos para as seções reforçadas e não reforçadas de mesma estrutura. Sendo que k é unitário para base de Brita Graduada Simples (BGS) com CBR igual a 80 %;

5. Com os valores medidos de ATR versus N, também pode-se obter o valor do TBR, entretanto é necessária a realização de estudos que contemplem a calibração da equação da AASHTO ou desenvolvimento de uma nova equação para que o parâmetro TBR utilizado.

3.6.3 Medidas de Deflexão

O cálculo do parâmetro LCR é baseado no método da AASHTO, sendo determinado a partir dos módulos obtidos pelas retro-análises dos resultados dos ensaios de deflexão ou pelo ensaio Geogauge, como se segue:

✓ Com a bacia de deflexão obtida pelos ensaios de viga eletrônica ou FWD, deve-se realizar uma retro-análise para a obtenção dos módulos de cada camada do pavimento;

✓ Caso tenha sido utilizado o Geogauge, pode-se utilizar os módulos obtidos diretamente para a avaliação da estrutura logo após a construção;

✓ Com os módulos obtidos determinam-se os coeficientes estruturais apresentados nas equações 4 e 5 e na Figura 4. Desta forma, obtiveram-se os valores de coeficientes estruturais das camadas reforçadas e não reforçadas;

$$a_2 = 0,249(\log_{10} E_{BS}) - 0,977 \quad (4)$$

$$a_3 = 0,227(\log_{10} E_{SB}) - 0,839 \quad (5)$$

sendo E_{BS} e E_{SB} os módulos elásticos da base e sub-base, respectivamente, em [psi].

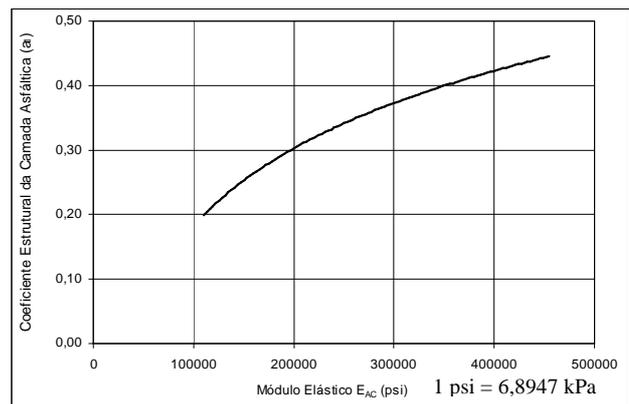


Figura 4. Gráfico Coeficiente Estrutural do Asfalto versus Módulo Elástico (AASHTO, 1993).

✓ O LCR pode ser determinado pela relação entre o coeficiente estrutural reforçado e coeficiente estrutural não reforçado, sendo atualmente definido pela equação 6.

$$SN_R = a_1 \cdot D_1 + LCR \cdot a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (6)$$

onde onde, a_i é o coeficiente estrutural da camada i , D_i [pol] é a espessura da camada i e m_i é o coeficiente de drenagem da camada i . Os números subscritos 1, 2 e 3 correspondem às camadas de revestimento, base e sub-base respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Como alguns dos métodos de dimensionamento utilizados para pavimentos reforçados com geossintéticos é baseado no método mecanístico-empírico da AASHTO, verifica-se a necessidade de que ensaios realizados em trechos experimentais ou trechos submetidos às condições reais de trafegabilidade, pudessem possibilitar a formação de um banco de dados que permita uma compreensão mais abrangente do comportamento estrutural de pavimentos reforçados com geossintéticos e a obtenção de parâmetros que reflitam este comportamento face a variabilidade das solicitações inerentes aos pavimentos, propiciando tomar a melhor decisão durante a concepção de um projeto de obra viária.

Neste artigo é apresentado um novo método de dimensionamento e avaliação de pavimentos baseado no modelo desenvolvido pela OCDE (1991). Assim como o método da AASHTO, este modelo necessita de calibração dos seus parâmetros para refletir às reais condições de campo e o comportamento estrutural de pavimentos reforçados.

Os procedimentos sugeridos para novos estudos foram baseados na pesquisa bibliográfica realizada e em dois trechos experimentais, sendo necessária uma constante avaliação dos mesmos para que haja uma melhora contínua na obtenção e análise de resultados.

REFERÊNCIAS

- AASHTO (1993), “*American Association of State Highway and Transportation Officials*”, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.
- Cancelli, A. & Montanelli, F. (1999). “*In Ground Test for Geosynthetic Reinforced Flexible Pavement Roads*” Proceedings Geosynthetics '99 Conference, Boston, USA.
- Marcon, A. F. (1996) Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.
- OCDE (1991), “*Essai OCDE en Vraie Grandeur des Superstructures Routières*”, Rapport DIRR No 125145, Organisation de Coopération et de Développement Économiques, Paris, France.
- Rodrigues, R (2007). Parte II – Gerência de Pavimentos. Apostila. Instituto Tecnológico da Aeronáutica.
- Trichês, Glicério & Bernucci, L. L. B. (2004) . Reforço de bases de Pavimentos. In: José Carlos Vertematti. (Org.). Manual Brasileiro de Geossintéticos. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher Editada, v. 1, p. 153-169.
- Zhao, A. & Foxworthy, P.T. (1999). “Geogrid Reinforcement in Flexible Pavements: A Practical Perspective”, Geotechnical Fabrics Report, May, pp.28-34.