

MÉTODO MECANICISTA DE DIMENSIONAMENTO APLICADO A PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO: Estudo de caso na rodovia MA-140

IVANOVICK DE OLIVEIRA NASCIMENTO^{1*}, NORBERTO GERMANO SARAIVA DA SILVA²,
DANIEL ROCHA PEREIRA³

¹ Graduando em Engenharia Civil, Faculdade Pitágoras, São Luís-MA. Fone: (98) 98110-7789,
ivanovicknascimento@hotmail.com

² Esp. em Mecânica dos Solos e Geologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa-Portugal. Fone: (98) 98408-
5224, ngss@terra.com.br

³ Me. Professor Engenharia Civil, Pitágoras de São Luís, São Luís-MA. Fone: (98) 9 8142-4710,
daniel.rocha.drp@gmail.com@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Em detrimento a um método de dimensionamento puramente empírico e padrão proposto pelo DNER/DNIT, este trabalho propõe o dimensionamento por um método mecanicista-empírico alternativo, o qual foi aplicado ao pavimento da rodovia estadual MA – 140 (com extensão do povoado Ouro à cidade de Porto Cordeiro, divisa MA/TO), resultando num pavimento semirrígido com a inserção de cimento Portland para estabilização do solo inerente às camadas de base e sub-base a fim de atender a um tráfego equivalente a 10^7 repetições de um eixo padrão pesando 82 kN, número N(USACE). Calcula-se a resposta estrutural das camadas através do programa “Geostudio”, módulo “QUAKE/W” versão 2007, com base nas relações tensões-deformações provocadas pelo carregamento aplicado no pavimento, devido a passagem dos veículos em velocidade retilínea e os pneumáticos na forma cíclica dinâmica. Com os resultados obtidos, verifica-se a conformidade estrutural na fase elástica, correlacionando empiricamente os resultados obtidos com o volume de tráfego, número N(USACE); correlações obtidas a partir do conceito da deflexão admissível com a viga Benkelman de acordo com a norma PRO-11/79 (DNER) e, de forma a atender os parâmetros geomecânicos e espessura das camadas do pavimento.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento semirrígido. Método mecanicista. Dimensionamento. Rodovia MA-140.

METHOD SCALING MECHANISTIC APPLIED TO FLOOR SEMI-RIGID: Case study in MA -140 highway

ABSTRACT: Over to a purely empirical design method and standard proposed by the DNER/DNIT, this paper proposes the design for an alternative mechanistic-empirical method, which was applied to the floor of the state highway MA – 140 (with village extension Gold to town Lamb Porto, currency MA/TO), resulting in a semi-rigid pavement with the insertion of Portland cement for soil stabilization inherent to the base layer and the subfloor to attend a traffic equivalent to 10^7 repetitions of a standard axle weighing 82 kN number N (USACE). Calculate the structural response of the layers through “Geostudio” program “QUAKE/W” version module 2007, based on the stress-strain relations caused by the applied load on the floor, due to the passage of vehicles and tires rectilinear speed in cyclic dynamically. With the results obtained, there is the structural compliance in the elastic phase, empirically correlating the results with the volume of traffic, number N (USACE); correlations obtained from the concept of permissible deflection with the Benkelman beam according to the PRO-11/79 standard (DNER) and in order to meet the geomechanical parameters and thickness of the pavement layers.

KEYWORDS: Semi-rigid pavement. Mechanistic method. Scaling. MA-140 highway.

INTRODUÇÃO

Face à carência, distância de transporte, capacidade de suporte do material laterítico hoje existente ao longo e nas proximidades das rodovias maranhenses, além da incapacidade ou inviabilidade na execução de um pavimento flexível no Estado. Este trabalho propõe uma alternativa ao dimensionamento e uso de pavimento semirrígido aplicado ao projeto executivo de pavimentação da rodovia MA-140 (com extensão do povoado Ouro à cidade de Porto Cordeiro, divisa MA/TO) com a utilização de um método mecanicista ou dito mecanístico-empírico para este.

Com a obtenção da resposta estrutural de dimensionamento por meio de cálculos realizados com o auxílio do programa “Geostudio”, módulo “QUAKE/W” versão 2007, com base nas relações tensões-deformações provocadas pelo carregamento na forma cíclica dinâmica, oriundo da ação dos pneumáticos no pavimento, correlacionando-as com a deflexão admissível para viga Benkelman de acordo com o PRO-11/79 (DNER), admitindo que as camadas do pavimento trabalhem na fase elástica.

Onde esta alternativa consiste na inserção de material de origem calcária, no caso específico o cimento Portland, para as camadas de base e sub-base como material alternativo para estabilização do solo. Suprindo assim, os parâmetros de capacidade de suporte exigidos, de forma a atender à vida útil para um tráfego equivalente a 10^7 repetições de um eixo padrão pesando 82 kN, número N (USACE) previsto em projeto, bem como abrange os quesitos financeiros, ambientais e de eficiência envolvidos, visando sanar esta problemática de forma viável socioeconomicamente e eficiente na execução do pavimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o dimensionamento do pavimento da rodovia MA-140, utilizou-se o software “Geostudio”, módulo “QUAKE/W” versão 2007, para formulação do pavimento e cálculo de tensões-deformações, permitindo a aplicação de carregamento externo na forma dinâmica e simulação dinâmica nas relações tensões-deformações por meio deste. Assim como o desenvolvimento de cálculo definido basicamente através de um modelo de previsão de desempenho que se constitui numa função que permite quantificar a redução do nível de serventia ou a geração de defeitos ao longo da vida de serviço do pavimento, onde se correlaciona as respostas da estrutura às cargas do tráfego por meio de Funções de transferência. Tal modelo é denominado “mecanístico-empírico” de acordo com manual do DNIT (BRASIL, 2006).

No dimensionamento da estrutura de pavimentação seguiu-se o seguinte roteiro mecanicista:

1. Na formulação do pavimento adotou-se uma estrutura inicial, definindo as espessuras tentativas de cada camada, com os materiais escolhidos, para simulação da capacidade de suporte e tensões em cada camada do pavimento, no software “Geostudio”.

2. Define-se a aplicação de um carregamento de ação dinâmica aplicado ao modelo, sendo de um eixo padrão pesando 82 kN e eixo tandem pesando 28,20 kN, no software “Geostudio”.

3. Para caracterização geomecânica do subleito foi realizada com o equipamento denominado “GeoGauge” ou medidor de resistência dos solos. O aparelho é um instrumento portátil que fornece de forma simples, rápida e precisa a medição do módulo resiliente do solo, compactado ou não, em tempo real e escala real. Na definição dos parâmetros inerentes às camadas de base e sub-base, recorrem-se aos ensaios de compressão simples para a determinação dos módulos de deformabilidade-elasticidade-resiliência, onde o módulo resiliente corresponde à tangente inicial na curva tensão-deformação de acordo com as definições da resistência dos materiais (BEER et al., 2013) e para a capa asfáltica, o módulo resiliente utilizado, foi de referências bibliográficas; no entanto, a resistência à tração, calculou-se através do ensaio de compressão diametral, um dos principais parâmetros para a definição da capacidade de trabalho em um processo de cargas cíclicas, sendo estes parâmetros de entrada para o cálculo de resposta estrutural no software “Geostudio”.

4. A análise e verificação de resposta estrutural é alicerçada de acordo com o DNER-PRO 11/79, “item 5” (Deflexão Admissível), a deflexão quasi-estática máxima admissível (Dadm) para pavimentos flexíveis, através da equação descrita por:

Equação 01:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \cdot \log N$$

Como se sabe, deformação é a relação entre a deflexão ou deslocamento e a extensão do corpo deformado, ou seja, $\epsilon = D/L$ e a distorção, $\gamma = 2 \cdot \epsilon$, de acordo com a lei de Hooke que descreve o comportamento dos materiais, embasado em Malconian (2012) e Beer et al. (2013), assim para uma única repetição do eixo padrão têm-se;

- **Para materiais classificados em flexíveis;**

Tendo como premissa que o pavimento como um todo deverá trabalhar no regime elástico linear, admitindo para isto um fator de segurança de 1,95, chega-se a seguinte relação;

Equação 02:
$$N = \left(\frac{\gamma_{din}(admissível)}{\gamma_{din}(calculada)} \right)^{17,857}$$

Onde:

$\gamma_{din}(admissível)$ - deformação distorcional cíclica admissível para solos, cujo valor adotado é de 10^{-5} , pois para um comportamento elástico linear o valor de deformação situa-se em geral entre 10^{-6} (0,0001%) e 10^{-5} (0,001%) de acordo com Jardine et al.(1985,1991,1992 apud CORREIA 2004) e Cunha e Correia (2007).

$\gamma_{din}(calculada)$ - deformação distorcional cíclica calculada pelo software utilizado.

N – Vida útil referente ao número de repetições de um eixo padrão pesando 82kN.

- **Para os materiais classificados como semirrígidos ou rígidos:**

Tendo como premissa que o pavimento como um todo deverá trabalhar no regime elástico linear, admitindo para isto $g=10,217$ e $N=1,50$, chega-se a seguinte relação;

Equação 03:
$$N = \left(\frac{\sigma_{t,RCD}(admissível)}{\sigma_{din}(calculada)} \right)^{5,128}$$

Onde:

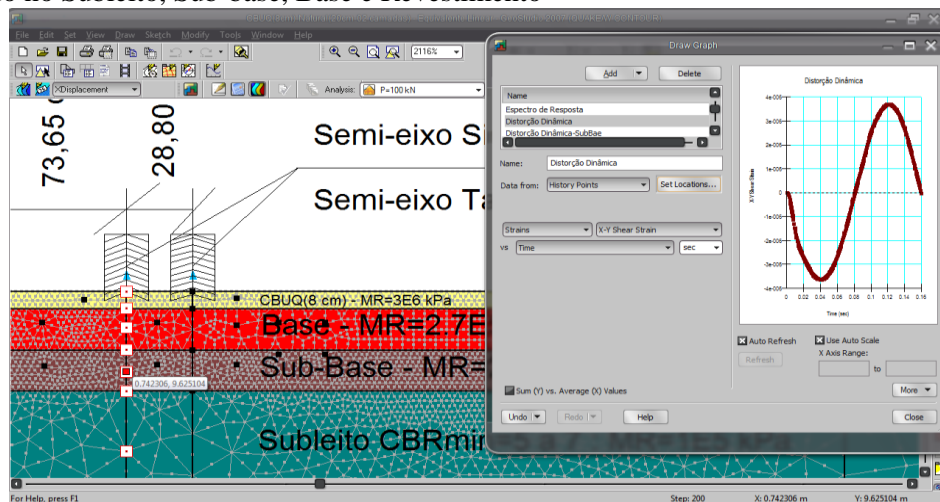
$\sigma_{t,RCD}(admissível)$ - tensão a tração estática no ensaio de compressão diametral.

$\sigma_{din}(calculada)$ - tensão de tração cíclica dinâmica calculada pelo software utilizado.

N – Vida útil referente ao número de repetições de um eixo padrão pesando 82kN.

Os valores de parâmetros calculados, deformação distorcional e tensão de tração cíclicas dinâmicas, são obtidos por meio do artifício dos geofones virtuais presentes no software “Geostudio”, que geram os resultados das ações cíclicas dinâmicas na caixa de diálogo, conforme figura 01.

Figura 1. Janelas Abertas no Software quando se clica no geofone virtual (quadrado vermelho) posicionado no Subleito, Sub-base, Base e Revestimento



Fonte: Geostudio (2014)

Com o resultado da tensão de tração cíclica dinâmica máxima, entra-se com tal valor na equação 03 de onde resulta o valor de $N(USACE)$, ou vida útil, para materiais semirrígidos ou rígidos, que se pretende dimensionar. Da mesma forma, com os resultados das distorções cíclicas dinâmicas máximas, calculadas pelo software utilizado, entra-se com cada valor na equação 02 para materiais flexíveis, de onde resulta o valor de $N(USACE)$ para a respectiva camada do pavimento, ou seja, a vida útil para a qual se pretende dimensionar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pavimento dimensionado pelo método mecanicista ficou com as seguintes dimensões e características mecânicas:

- AAUQ com 4 cm de espessura e resistência a compressão simples mínima de 550 kPa; 8% de CAP 50/70 e 4% de filler calcáreo (cal CH I).
- BASE em solo misturado com cimento (100 kg/m³) com 20 cm de espessura e estabilizada granulometricamente na energia do Proctor Intermediário e módulo resiliente da ordem de 2.000 MPa e 1.000 MPa para a condição da camada saturação.
- SUB-BASE em solo misturado com cimento (70 kg/m³) com 20 cm de espessura e estabilizada granulometricamente na energia do Proctor Intermediário e módulo resiliente em torno de 1.600 MPa e 800 MPa para a condição da camada saturação.
- SUBLEITO com solo laterítico da região, sendo um espaço semi-infinito da própria fundação, com módulo resiliente médio obtido de 100 MPa.

CONCLUSÕES

Por meio de uma formulação mecanicista ou dita mecanística-empírica para análise e dimensionamento do pavimento da rodovia MA-140 (com extensão do povoado Ouro à cidade de Porto Cordeiro), chegou-se a conclusão de que ter-se-á um melhor aproveitamento dos materiais(solo) e de suas características geomecânicas à luz da mecânica e resistência dos materiais para o comportamento estrutural e vida útil do pavimento sob a ação de excitações dinâmicas das cargas na região em que está implantada a rodovia, com a utilização de um pavimento semirrígido.

Deste modo o pavimento semirrígido proposto não só atende às solicitações do tráfego para o número equivalente de operações $N=10^7$ previsto em projeto, como tem a vida útil do pavimento aumentada ante esta solicitação de acordo com os resultados de resposta estrutural obtidos, sendo: $N=1,61 \times 10^7$ para capa asfáltica, $N=1,55 \times 10^7$ para base e $N=4,97 \times 10^7$ para sub-base e para subleito $N>10^8$ repetições de um eixo padrão pesando 82 kN, número $N(USACE)$.

REFERÊNCIAS

- BEER, Ferdinand P. et al. Estática e mecânica dos materiais. Tradução: Antonio Eustáquio de Melo Pertence, revisão técnica: Antonio Pertence Júnior. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- BRASIL – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM (DNER): PRO 011/79 – Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 1979.
- BRASIL – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT): Diretrizes Básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários: Escopos básicos/instruções de serviço. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- CORREIA, Antônio Gomes. Características da deformabilidade dos solos que interessam à funcionalidade das estruturas. Revista da sociedade portuguesa de geotecnia. Guimarães, n.100, 2004. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12322/1/caracter%C3%ADsticas%20de%20deformabilidade%20dos%20solos.pdf>>. Acesso em 15 de abril de 2015.
- GEOSTUDIO. Software módulo Quake/W. Universidade de Calgary-Canadá. Calgary, 2007.
- CUNHA, J.; CORREIA, A. Gomes. Influência da deformação cíclica dos solos de fundação no desempenho de uma via-férrea de alta velocidade. Engenharia Civil Um. Guimarães, n.28, 2007. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7531/1/pag73-86-Jos%C3%A9%20Cunha.pdf>>. Acesso em 15 de abril de 2015.
- MALCONIAN, Sarkis. Mecânica e resistência dos materiais. 19. ed. São Paulo: Érica, 2012.