

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE ESTIMATIVA DE VIDA ÚTIL DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL A PARTIR DE DIFERENTES MODELOS DE PREVISÃO DA VIDA DE FADIGA¹

Daniel Koscrevic Pandolfo², José Antônio Santana Echeverria³.

¹ Pesquisa Institucional voluntária desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias – DCEEng - UNIJUI/RS

² Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI/RS. Email: daniel_pandolfo@yahoo.com.br

³ Professor Me. do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI/RS. Email: jose.echeverria@unijui.edu.br

1. Introdução

O transporte é um dos principais fatores de produção na economia e agente indutor de riqueza e desenvolvimento, a importância do setor para o país é superior à ideia inicial de mero elo entre zonas produtora e consumidora, este setor gera empregos, contribui para melhorar a distribuição de renda e reduz a distância entre a zona rural e a urbana, melhorando a qualidade de vida da população (CNT, 2014).

Rodovias que apresentam boas condições não exigem atividades de manutenção de grande vulto e propiciam conforto e segurança aos usuários (ECHEVERRIA, 2011).

Conforme Lopes (2012), tem sido um grande desafio para os engenheiros civis, do setor rodoviário, definir modelos racionais de dimensionamento e restauração de vias, a fim de reduzir custos de obras e garantir o bom desempenho funcional e estrutural dos pavimentos ao longo do tempo.

Em uma análise mecanística Lebre (2014), afirma que são geralmente utilizados o critério de fadiga e de deformação permanente e é através da comparação dos valores obtidos na análise de tensões e deformações com os dois critérios apresentados que se verifica se o pavimento está bem dimensionado. O autor cita que os critérios definem o número de solicitações de um eixo padrão que a estrutura será capaz de suportar sem que ocorram fissuras ou deformações excessivas. Segundo Balbo (2007), o eixo padrão que é utilizado no Brasil é o eixo simples roda dupla (ESRD) que transmite ao pavimento uma carga de 80Kn, ou seja, 8200Kg.

Medina e Motta (2005), afirmam que o trincamento por fadiga do revestimento é em geral o principal mecanismo de degradação de pavimentos asfálticos de rodovias, segundo eles a repetição das cargas das rodas dos veículos solicita à flexão a camada de concreto asfáltico do revestimento betuminoso, com isso inicia-se o surgimento de trincas geralmente na parte inferior do revestimento que se propagam até a superfície. A solicitação aplicada de forma cíclica se acumula ao longo do processo de uso da estrutura e acabam culminando com o surgimento de trincas (BALBO, 2007).

A partir disso é que se desenvolve este estudo, que busca comparar os resultados obtidos a partir de dois modelos de desempenho que estimam a vida de fadiga de um pavimento rodoviário simulado e analisá-los.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

2. Metodologia

Arbitrou-se para o estudo uma estrutura rodoviária contendo Revestimento em Concreto Asfáltico (CA), Base de Brita Graduada Simples (BGS), Sub-base de Macadame Seco (MS) e Subleito composto de Solo Laterítico (SL). A análise foi realizada variando-se os módulos de resiliência (MR), para cada espessura de revestimento proposta, conforme a Tabela 01, possibilitando desta forma que todas as espessuras fossem simuladas com diferentes valores de MR, gerando ao todo 48 casos para análise, que geraram 96 resultados de Vida de Fadiga.

Camada	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência (Mpa)	Coef. Poisson
Revestimento	CA	2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 12,5 - 15 - 17,5 - 20	3500 - 4500 - 5500 - 6500 - 7500 - 8500	0,30
Base	BGS	15	200	0,35
Sub-Base	MS	18	250	0,35
Subleito	SL	100	100	0,40

Tabela 1: Características da Estrutura – Variação das espessuras do revestimento

Utilizando o software AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas) desenvolvido por Franco (2007), a estrutura passou por análise mecânica, através do qual foi definida a deformação de tração na base do revestimento para que fosse utilizado nos modelos de desempenho à Fadiga de Pinto (1991) Equação (01), e Franco (2007), Equação (02).

$$N = flc \cdot 9,07 \cdot 10^{-9} \left(\frac{1}{et}\right)^{2,65} \cdot \left(\frac{1}{MR}\right)^{-0,033} \quad (01)$$

$$N = flc \cdot 1,904 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{et}\right)^{2,821} \cdot \left(\frac{1}{MR}\right)^{0,74} \quad (02)$$

Onde:

N = Vida de fadiga;

et = Deformação específica de tração;

MR = Módulo de Resiliência da mistura asfáltica, em Mpa;

Flc = 10^4 .

Conforme Pinto (1991) e Franco (2007) os modelos estimam a vida útil que corresponde a cerca de 20% da área trincada do pavimento a uma temperatura de 54°C.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

3. Resultados e Discussão

Através do software Excel foram gerados gráficos que representam a estimativa de vida útil de fadiga em função do módulo de resiliência do revestimento em Mpa, para cada espessura de revestimento.

Um comportamento considerado previsível para a estrutura com 2,5cm de revestimento seria uma menor estimativa de vida útil se comparada com estruturas mais espessas para o mesmo modelo de desempenho, porém não é o que foi verificado, pois esta estrutura apresentou maior estimativa de vida útil do que a estrutura de 5,0cm com módulo de 3500, 4500, 5500 e 6500 Mpa, e a de 7,5 cm com MR de 3500 e 4500 Mpa, para o mesmo modelo. Valores inferiores aos estimados com espessura de 5,0 cm foram apenas observados a partir do módulo de resiliência de 7500 Mpa. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que uma estrutura menos espessa, possui até certo ponto, menor deformação de tração na base do revestimento, resultando em maior estimativa de vida útil. Os maiores valores de deformação específica observada para a espessura de 2,5cm, indiferente do módulo, são as de compressão.

Percebeu-se que o modelo de Franco (2007) apresenta comportamento decrescente para a espessura de 2,5 cm, apresentando maior estimativa de vida útil para MR de 3500Mpa do que para o MR de 8500Mpa, o que não ocorre nas demais simulações em ambos os modelos.

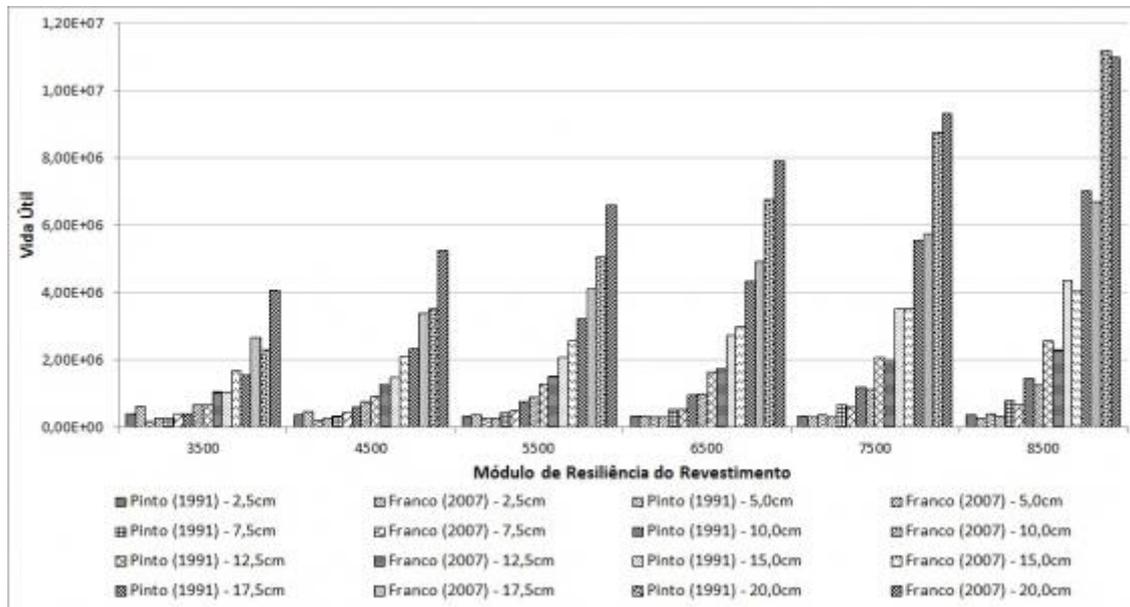


Figura 1: Vida Útil de Fadiga em função do Módulo de Resiliência para cada espessura de revestimento

A variação dos resultados encontrados entre os dois modelos de desempenho proposto pode ser considerada elevada, pois alcançou na média geral, considerando a variação de todos os resultados o valor de 23,8%, o que representa $3,58 \cdot 10^5$ solicitações de um eixo padrão, sendo que em alguns

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

casos a variação foi maior do que 70%. A maior variação de resultados ocorreu para a espessura de revestimento de 20,0cm e MR de 3500Mpa que apresentou 76,4%, representando $1,77 \cdot 10^6$ solicitações.

Para se ter uma ideia comparativa destes valores, conforme a classificação de Gonçalves (1997), a variação de resultados média pode ser considerada o número de solicitações de um eixo padrão rodoviário para que uma rodovia seja enquadrada como de tráfego médio. Já a maior variação encontrada representa o número de solicitações para que uma rodovia se enquadre na de tráfego pesado.

Pesado ($N > 10^6$);

Médio ($10^5 < N < 10^6$);

Leve ($N < 10^5$).

A menor diferença média encontrada entre os resultados pode ser verificada para a espessura de 5,0cm, apresentando 20%, ou seja, $5,13 \cdot 10^4$ número de solicitações a mais ou a menos. Já a maior variação média ocorre na espessura de 20cm, representando 30,3% ou $1,16 \cdot 10^6$ solicitações.

Em todas as simulações, o modelo proposto por Pinto (1991), com MR menores, apresenta valores de vida útil inferior aos estimados pelo modelo de Franco (2007), porém os valores obtidos pelo modelo de Pinto (1991) apresentam maior crescimento se comparado com o de Franco (2007) a partir do acréscimo de rigidez à estrutura, sendo assim, a maior estimativa de vida útil verificada para módulos de resiliência elevado são sempre os obtidos por Pinto (1991), indiferente da espessura adotada.

As maiores variações da estimativa de vida útil entre os modelos ocorrem com os menores valores de MR, tornando-se menores a partir de seu crescimento, isso se deve ao fato de que os valores de vida útil estimados pelos modelos, em certo ponto se interceptam, isto é, o modelo que apresenta menor estimativa de vida útil com módulo baixo, no caso, o de Pinto (1991), possui maior crescimento a partir do incremento do MR, alcançando e ultrapassando os valores de estimativa de vida útil até então superiores do modelo de Franco (2007).

Apesar da elevada variação observada em alguns casos, os modelos apresentam certa igualdade de resultados nas espessuras de até 10,0cm e módulo de 6500Mpa, representando 2,8% de variação média. A partir de 10cm até 17,5cm, a menor porcentagem de variação se verifica com MR de 7500Mpa representando 2,3%. Na espessura de 20,0cm a menor variação pode ser observada para o módulo de 8500Mpa apresentando 1,8%.

As menores variações médias por Módulo de Resiliência foram observadas nos valores de 6500 e 7500 Mpa, representando 7,40 e 7,04%, respectivamente.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

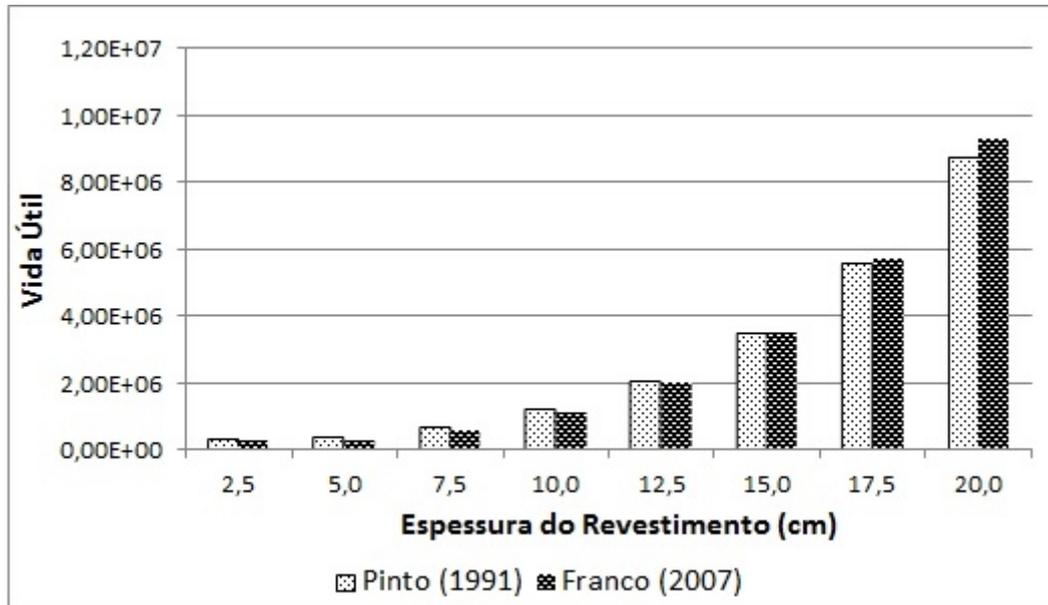


Figura 2: Vida Útil para Módulo de Resiliência 7500Mpa

Pode-se perceber que os modelos apresentam pouca variação de resultados nas diversas espessuras para o módulo de 7500Mpa, variando ainda, porém, mais nas espessuras menores que nas maiores. A espessura de 2,5cm alcançou para este MR a maior variação, representando 13,5% de diferença, já a menor variação obtida para este MR foi 0,4%, na espessura de 15,0cm, representando também a menor variação dos resultados de estimativa de vida útil em todas as simulações realizadas.

4. Conclusões

A partir da comparação e análise dos resultados de estimativa de vida útil para fadiga dos diferentes modelos propostos, pode-se afirmar que apresentam bastante variabilidade, alcançando em alguns casos mais do que 70% de diferença da estimativa de vida útil, resultando no número de solicitações de um eixo padrão para que uma rodovia seja considerada conforme a classificação de Gonçalves (1997), de tráfego pesado.

As maiores variações ocorrem nas estruturas mais atípicas, isto é, com espessuras maiores de 12,5 cm e módulos de resiliência do revestimento baixos, até 4500Mpa, e apresentam resultados mais próximos em estruturas de 5,0 a 12,5cm, e módulos intermediários, entre 5500 a 7500.

Sendo assim pode-se afirmar que em um dimensionamento mecânico que possua as mesmas características das camadas de base, sub base e subleito que este estudo simulou, a escolha do modelo a ser adotado não é tão influente na determinação da vida útil de fadiga para espessuras de revestimento que estão entre 5,0 e 12,5cm, bem como módulo de Resiliência do revestimento entre 5500 e 7500Mpa. Porém, no caso de dimensionamento de estruturas diferentes, com espessuras de materiais e rigidez que vão além desses limites, deve-se dar atenção especial aos valores de vida útil

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

estimada, pois podem apresentar grande variabilidade caso outro modelo fosse utilizado, não representando adequadamente o comportamento da estrutura.

5. Palavras-Chave: Desempenho de Pavimentos; Análise mecanicista; Modelos de Desempenho.

6. Referências

- BALBO, José Tadeu. Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projetos e Restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. A importância do setor de transporte. Disponível em < <http://www.cnt.org.br/Paginas/Economia-em-foco.aspx> >. Acesso em 13 de março de 2015.
- ECHEVERRIA, Jose Antônio Santana. Avaliação do efeito de restaurações com fresagem e recapeamento nas condições funcional e estrutural de pavimentos com volume de tráfego médio. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2011.
- FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença. Método De Dimensionamento Mecânico-Empírico De Pavimentos Asfálticos – Sispav. 2007. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- GONÇALVES, Fernando José Pugliero. Utilização de Expert Systems na Manutenção de Pavimentos. 1997. 192f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA São José dos Campos, SP 1997.
- LEBRE, Catarina Raquel Almeida. Análise de Agressividade de Eixos em Pavimentos Rodoviários. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Porto, Porto, Portugal. 2014.
- LOPES, Flaviane Melo. Pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico - avaliação estrutural a partir dos parâmetros de curvatura da bacia de deformação. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2012.
- MEDINA, Jacques de.; MOTTA, Laura Maria Goretti da. Mecânica dos pavimentos. Rio de Janeiro. 2ªed. 2005. 574p.
- PINTO, Salomão. Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos. 1991. 489f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE Rio de Janeiro, 1991.