

FATOR DE CORREÇÃO DE DEFLEXÃO EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: APLICABILIDADE DO MODELO DE AMORIM NO SUL DO BRASIL

CHAYANE COSTA LOBO¹; MILENA CARDOSO NEITZEL²; LUCAS ADRIEL
RODRIGUES CARDOZO³; PRISCILA MILECH THEISEN⁴; AMANDA DO
SACRAMENTO ROBE⁵; KLAUS MACHADO THEISEN⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – contatochayanelobo@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – milenacneitzel@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – lucascardosor.c2@gmail.com

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul – priscila.milech@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – amandasrobe@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – theisenkm@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento mecânico de pavimentos analisa o comportamento das camadas sob condições ambientais, correlacionando parâmetros como módulos de resiliência e temperatura com as respostas do sistema. A análise das deflexões em diferentes sensores é crucial, pois permite calibrar modelos de previsão de desempenho e avaliar a vida útil do pavimento (PAULA; FERNANDES; SILVA, 2023).

Neste contexto, o modelo de AMORIM (2013), que utiliza uma função quadrática para correção das deflexões em função da posição do sensor, apresenta adequação mensurada pelo coeficiente de determinação (R^2). A confiabilidade dessa modelagem está vinculada a uma correta estimativa do tráfego, para a qual se aplica a equação de CALEGARO (2019), desenvolvida especificamente para o trecho da BR-116/RS.

Entretanto, o modelo de AMORIM (2013) contempla condições peculiares da origem dos dados do qual foi concebido, oriundo de rodovias e materiais portugueses, no qual sua extrapolação à realidade brasileira não deve ser realizada de maneira direta. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo verificar em quais combinações de módulo de resiliência e temperatura o modelo de AMORIM (2013) apresenta melhor adequação (via R^2), utilizando a previsão de tráfego de CALEGARO (2019), contribuindo para a discussão sobre a aplicabilidade de métodos mecânicos no Sul do Brasil.

2. METODOLOGIA

A análise foi conduzida considerando uma estrutura típica de pavimento flexível, composta por revestimento asfáltico (CAP 50/70), base e sub-base granular (brita graduada) e subleito de solo fino, representativo das condições geotécnicas da região Sul do Brasil. As espessuras das camadas foram definidas conforme os valores mínimos recomendados pelo Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006) para o tráfego previsto, adotando-se 10 cm para o revestimento, 20 cm para a base e 30 cm para a sub-base, configuração representativa de projetos rodoviários convencionais.

Os módulos de resiliência de cada camada variaram conforme os intervalos estabelecidos pela Instrução de Projeto P00-001 do DER-SP (DER, 2024), considerando os valores mínimo, médio e máximo para cada material: subleito (100, 150, 200 MPa), sub-base (150, 225, 300 MPa), base (200, 290, 380 MPa) e

revestimento (3000, 4750, 6500 MPa). A combinação sistemática desses valores resultou em 81 cenários distintos de rigidez para análise, abrangendo uma ampla variedade de condições possíveis de materiais e compactação.

O tráfego de projeto, expresso pelo número de passagens de eixo padrão (N), foi estimado em $2,67 \times 10^7$ para o ano de 2025 utilizando a equação de Calegari (2019), com base em dados de tráfego real da praça de pedágio do Retiro (BR-116/RS), assegurando representatividade das condições reais de carregamento.

Quanto à influência da temperatura, considerou-se que a mesma influenciava o módulo do revestimento. Assim, utilizou-se modelos de correção de módulos em função da temperatura da literatura apresentados por OLIVEIRA (2021) aos três módulos do revestimento, utilizando como representativo o módulo médio resultante dos modelos menos 1,28 vezes o desvio padrão desses módulos, representando módulos com confiabilidade de 90%. Assim, os módulos para as combinações simulando 15°C foram 4088, 6472 e 8857 MPa; os valores de MR para as combinações simulando 35°C foram 1228, 1944 e 2661 MPa.

A avaliação mecânica focou-se na aplicação do modelo de Amorim (2013) para calcular o fator de correção das deflexões em função da temperatura e da posição do sensor. Para cada uma das 81 combinações, o fator de correção foi determinado para as temperaturas de 15°C e 35°C, representativas dos extremos térmicos regionais. A qualidade do ajuste do modelo, que assume uma variação parabólica do fator, foi quantificada pelo coeficiente de determinação (R^2). O objetivo desta etapa foi identificar para quais combinações de módulos (cenários de rigidez) o modelo de Amorim se mostra mais adequado, validando estatisticamente a hipótese de comportamento quadrático através da proximidade do R^2 com a unidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As combinações estruturais simuladas resultaram em diferentes padrões de deflexão e fatores de correção, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2. A partir desses resultados, foi realizada uma análise comparativa com o modelo proposto por Amorim (2013), a fim de verificar a aplicabilidade do fator de correção de deflexão em condições distintas daquelas originalmente previstas.

Tabela 1 – Maiores e menores valores de R^2 para 35°C e 15°C

MENORES R^2 (pior ajuste do modelo)		MAIORES R^2 (melhor ajuste do modelo)
35°C	Combinação 09: $R^2 = 0,9359$	Combinação 46: $R^2 = 0,9959$
	Combinação 18: $R^2 = 0,9450$	Combinação 76: $R^2 = 0,9953$
	Combinação 57: $R^2 = 0,9583$	Combinação 79: $R^2 = 0,9950$
	Combinação 17: $R^2 = 0,9542$	Combinação 19: $R^2 = 0,9929$
15°C	Combinação 30: $R^2 = 0,9716$	Combinação 19: $R^2 = 0,9970$
	Combinação 33: $R^2 = 0,9782$	Combinação 79: $R^2 = 0,9950$
	Combinação 57: $R^2 = 0,9725$	Combinação 52: $R^2 = 0,9956$
	Combinação 29: $R^2 = 0,9791$	Combinação 22: $R^2 = 0,9951$

Tabela 2 – Camadas de pavimento com maiores valores de R^2

MAIORES VALORES					
Combinação	Revestimento	Base	Sub-base	Subleito	°C
19 46 76 79	3000	380	150	100	35°C
	4750	380	150	100	
	6500	380	225	100	
	6500	380	300	100	
19 79 52 22	3000	380	150	100	15°C
	6500	380	300	100	
	4750	380	300	100	
	3000	380	225	100	

Tabela 3 – Camadas de pavimento com menores valores de R^2

MENORES VALORES					
Combinação	Revestimento	Base	Sub-base	Subleito	°C
9 18 57 17	3000	200	300	200	35°C
	3000	290	300	200	
	6500	200	150	200	
	3000	290	300	150	
30 33 57 29	4750	200	150	200	15°C
	4750	200	225	200	
	6500	200	150	200	
	4750	200	150	150	

Os resultados mostraram que os maiores valores de R^2 ocorreram, de forma recorrente, em combinações com subleito de 100 MPa e bases mais rígidas (≈ 380 MPa), tanto para 15 °C quanto para 35 °C. Essa configuração encontra-se dentro do intervalo de validade estabelecido por Amorim (2013) para o subleito (20–120 MPa), o que justifica a boa qualidade dos ajustes observados. Além disso, verificou-se a tendência de melhores resultados quando a sub-base se manteve em valores intermediários (200–250 MPa), o que contribuiu para o equilíbrio da estrutura.

Por outro lado, os menores valores de R^2 apresentaram tendência de ocorrência em cenários com revestimentos de módulo mais baixo (≈ 3000 MPa a 35 °C e ≈ 4750 MPa a 15 °C), associados a bases menos resistentes (200–290 MPa) e sub-bases muito rígidas (≈ 300 MPa). Em ambas as temperaturas, verificou-se a presença recorrente do subleito de 200 MPa, que extrapola o limite de aplicação do modelo de Amorim (2013). Nessas condições, as bacias de deflexão não puderam ser adequadamente representadas, resultando em ajustes insatisfatórios, especialmente a 15 °C, quando a influência das camadas granulares é mais acentuada.

Dessa forma, a análise evidencia que o modelo de Amorim (2013) apresenta boa aderência quando aplicado dentro de seus limites de validade, mas perde

representatividade em situações extrapoladas, particularmente em subleitos mais rígidos (200 MPa) e em condições de maior sensibilidade térmica. Esses resultados reforçam a necessidade de adequar os parâmetros de projeto às condições regionais, demonstrando que a simples aplicação de modelos gerais pode comprometer a confiabilidade das análises mecânicas.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs uma abordagem metodológica inovadora para testar a aplicabilidade e os limites de um modelo mecânico de correção de deflexões em condições regionais específicas. A inovação central reside na avaliação sistemática do modelo de Amorim (2013), por meio do coeficiente de determinação R^2 , sob uma ampla gama de combinações de módulos de resiliência e temperaturas representativas do Sul do Brasil. A estrutura de pavimento analisada foi dimensionada com base na previsão de tráfego de Calegari (2019) para a BR-116/RS, assegurando que as espessuras das camadas sejam representativas das condições reais de carregamento da região. Dessa forma, este estudo fornece um método robusto para qualificar a confiabilidade de modelos de previsão de desempenho, contribuindo para a discussão sobre a necessidade de calibrar e validar ferramentas de dimensionamento mecânico frente às particularidades dos materiais, condições climáticas e estruturais locais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, S. **Correção das deflexões obtidas com defletômetro de impacto devido às variações de temperatura**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Guimarães, 2013.

CALEGARI, G. L. **Um estudo técnico comparativo entre métodos de recuperação estrutural de pavimentos normalizados pelo DNIT/DNER e Retroanálise**. 2019. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DER/SP. IP-DE-P00/001 B. **Instrução de Projeto – Projeto de Pavimentação**, 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).

OLIVEIRA, C. B. H. **Estudo comparativo de métodos de ajuste de Temperatura aplicados a medidas de Deflexão e cálculos de Retroanálise para Dimensionamento de Reforço de Pavimento**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

PAULA, G. F.; FERNANDES, P. C.; SILVA, R. C. **Parâmetros de bacia de deflexão (PBD) para avaliação da condição estrutural de pavimentos flexíveis**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 5., [S.I.], 2023. Anais... [S.I.]: Even3, 2023. p.1491–1503.