

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO À FADIGA DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO DE UM TRECHO DA RODOVIA BR-230/PB

LUCAS SANTOS FELICETTI¹, ANTÔNIO CARLOS RODRIGUES GUIMARÃES², FILIPE ALMEIDA CÔRREA DO NASCIMENTO³

¹Mestrando em Engenharia de Transportes, IME, Rio de Janeiro-RJ, lucas.felicetti@ime.eb.br;

²Dr. em Engenharia Civil, Prof. do IME, Rio de Janeiro-RJ, guimaraes@ime.eb.br;

³Dr. em Engenharia de Transportes, Prof. do IME, Rio de Janeiro-RJ, filipe.nascimento@ime.eb.br

RESUMO: O trincamento por fadiga é uma das patologias mais frequentes nos pavimentos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a vida de fadiga do revestimento asfáltico aplicado em um segmento da rodovia BR-230/PB, buscando verificar a sua integridade a partir de dados obtidos em ensaios fundamentais da Mecânica dos Pavimentos. Na metodologia, foram realizados os ensaios de resistência à tração e fadiga por compressão diametral à tensão constante. Foi definido um modelo do comportamento quanto à fadiga, o qual foi comparado com os valores obtidos em outras misturas asfálticas, relatados em estudos consagrados presentes na literatura. Os resultados mostraram que a mistura asfáltica da BR-230/PB apresenta curva de fadiga mais favorável que as obtidas em outras pesquisas, o que indica apresentar melhor desempenho, retardando o surgimento de trincas e rachaduras ocasionadas por cargas repetidas. Dessa forma, esta pesquisa foi fundamental para contribuir no levantamento de dados da camada asfáltica empregada na BR-230/PB para o desenvolvimento do banco de dados relacionados ao comportamento à fadiga de misturas asfálticas, permitindo, assim, melhor acurácia de projetos de pavimentação.

PALAVRAS-CHAVE: Misturas asfálticas, curva de fadiga, resistência à tração, análise mecanística.

EVALUATION OF THE FATIGUE BEHAVIOR OF THE ASPHALT SURFACE LAYER OF A STRETCH OF THE BR-230/PB HIGHWAY

ABSTRACT: Fatigue cracking is one of the most frequent pathologies in pavements. This study aimed to evaluate the fatigue life of the asphalt surface layer applied on a segment of the BR-230/PB highway, seeking to verify its integrity from data obtained in mechanical characterization tests. In the methodology, indirect tensile strength and fatigue by diametral compression at constant tension tests were performed. A fatigue behavior model was defined, which was compared with the values obtained in other asphalt mixtures, reported in well-established studies in the literature. The results indicated that the asphalt mixture of BR-230/PB has a more favorable fatigue curve than those obtained in other studies, which indicates a better performance, delaying the appearance of cracks caused by repeated loads. Thus, this research was fundamental to contribute, through data collection of the asphalt layer used in the BR-230/PB, to the development of the database related to the fatigue behavior of asphalt mixtures and allow better accuracy of paving projects.

KEYWORDS: Asphalt mixtures, fatigue curve, tensile strength, mechanistic analysis.

INTRODUÇÃO

O surgimento prematuro de defeitos em pavimentos é um dos principais motivos deste estudo. A pesquisa realizada pelo CNT (2019) nas rodovias brasileiras aponta casos de pavimentos projetados para durar cinco anos, mas que apresentam problemas de desgaste em menos de sete meses. Isso leva a necessidade de manutenções mais frequentes e, conseqüentemente, maiores custos de reparação. Dentre os problemas mais recorrentes nos pavimentos brasileiros, pode-se citar o trincamento causado pela repetição de cargas de tráfego.

Essas trincas afetam significativamente o desempenho do pavimento. No estágio mais severo, com o seu crescimento e a propagação, tendem a se interligarem, apresentando aspecto semelhante ao couro de jacaré, tornando a superfície de rolamento mais áspera e permitindo a passagem de ar e água, o que provoca danos adicionais à estrutura do pavimento. Ao longo do tempo, podem resultar em extensas áreas de rachaduras, grandes buracos e a ruptura total do pavimento (NCHRP, 2011).

Sob a perspectiva da Mecânica dos Pavimentos, a repetição das cargas das rodas dos veículos gera uma flexão das camadas do pavimento, ou seja, são geradas tensões e deformações de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico, o que provoca, nesta região, o surgimento de trincas que se propagam para cima até atingir a superfície (Medina & Motta, 2015).

O método de dimensionamento do DNER (1981) não leva em consideração esse fenômeno de fadiga do revestimento. A definição das espessuras das camadas é restrita à equações empíricas e ao CBR dos materiais. Com a implementação do novo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), as camadas passam a ser projetadas com base em aspectos mecanísticos-empíricos, os quais fornecem uma análise mais precisa e real do comportamento estrutural dos pavimentos. Assim, ensaios mecânicos em laboratório buscam a simulação de cargas repetidas de tráfegos para a avaliação da vida útil de fadiga e da deformação permanente de misturas asfálticas.

Neste contexto, considerando a importância do tema abordado, o presente estudo traz uma análise do comportamento à fadiga do revestimento asfáltico empregado na BR-230/PB, com intuito de auxiliar engenheiros projetistas e profissionais de concessionárias de infraestrutura na adoção de melhores técnicas construtivas. Este trabalho busca contribuir para o desenvolvimento do banco de dados sobre modelos teóricos do comportamento estrutural de materiais comumente empregados em revestimentos asfálticos, a partir dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais.

MATERIAL E MÉTODOS

O objeto de estudo refere-se à rodovia BR-230/PB do trecho: Cabedêlo – Divisa PB/CE, sub-trecho: Cabedêlo – Entrº BR-101/PB (A), segmento: km 0,00 – km 28,10. Este trecho caracteriza-se pelo elevado volume de tráfego: inicia-se no Porto Cabedêlo, único porto do Estado da Paraíba, atravessando a cidade de João Pessoa até o entroncamento da BR-101/PB. A mistura asfáltica estudada neste trecho emprega o ligante CAPFLEX 55/75 modificado por polímeros e possui composição granulométrica enquadrada na Faixa C do DNIT 031/2006. As características do ligante, agregados, composição granulométrica e as propriedades finais da mistura empregada da BR-230/PB estão apresentadas nas Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 1: Características do ligante asfáltico

Características	Unidade	Especificação	Resultado
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	45 a 70	59,6
Ponto de Amolecimento	°C	mín 55	55,2
Viscosidade Brookfield a 135°C, SP21, 20rpm	cP	máx 3000	877
Viscosidade Brookfield a 150°C, sp21, 50rpm	cP	máx 2000	451
Viscosidade Brookfield a 177°C, sp21, 100rpm	cP	máx 1000	186
Ponto de Fulgor	°C	mín 235	240°C
Ductilidade à 25°C	cm	mín 75	78,8
Densidade	-	-	1,03

Tabela 2: Características dos materiais pétreos e composição granulométrica da mistura da BR-230/PB

Peneira		Granulometria (% passante)					Mistura
Pol	mm	Brita 1/2"	Pó de pedra	Areia natural	Cal CH-1		
3/4"	19	100	100	100	100	100	
1/2"	12,5	97,5	100	100	100	99	
3/8"	9,5	81,3	100	100	100	92,5	
Nº 4	4,75	12,7	96,8	100	100	64,2	
Nº 10	2	0,4	62,4	96,8	100	48,7	
Nº 40	0,42	0,4	31,2	53,3	100	26,9	
Nº 80	0,18	0,3	18,6	19,6	100	13,2	
Nº 200	0,075	0,2	8,2	5,6	98	6,1	
Densidade real		2,709	2,663	2,657	2,702		
Densidade aparente		1,544	1,619	1,479	1,515		

Tabela 3: Propriedades finais da mistura

Propriedades da mistura	Valor do projeto	Especificação DNIT
Teor de Ligante (%)	5,6	
Volume de Vazios (%)	3,5	3 - 5
Relação Betume Vazios (%)	78,6	75 - 82
Vazios do Agregado Mineral (%)	12,9	
Massa Esp. Aparente (g/cm ³)	2,373	
Massa Esp. Máx Teórica (g/cm ³)	2,459	
Estabilidade (kgf)	1113	> 500
Tração diametral (MPa)	1,5	> 0,65

Neste estudo, dez amostras foram extraídas da camada asfáltica do pavimento recém-construído, para a execução dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral e vida de fadiga à tensão controlada. Estes ensaios fornecem um estado biaxial de tensões (horizontais de tração e verticais de compressão) similar às condições produzidas nas fibras inferiores das camadas de rolamento por uma carga de roda.

No ensaio de fadiga, as cargas dinâmicas foram aplicadas na frequência de 1 Hz. Os corpos de prova foram testados à 25°C e submetidos à 4 níveis de tensão: 10%, 20%, 30% e 40% da resistência à tração, conforme normatizado pelo DNIT 183/2018. A Figura 1 ilustra a execução do ensaio.

Figura 1: Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada



A vida de fadiga (N) corresponde ao número total de aplicações de carga suficiente para levar a amostra a ruptura, sendo expressas por:

$$N = k_1 \left(\frac{1}{\Delta\sigma} \right)^{k_2} \quad (1)$$

$$\Delta\sigma = \sigma_t - \sigma_c = 4 \sigma_c$$

Onde:

N: Vida de fadiga ou número de aplicações de carga;

σ_t : Tensão de tração repetida;

σ_c : Tensão de compressão repetida;

k_1 e k_2 : constantes obtidas na regressão linear entre N x $\Delta\sigma$, em escalas logarítmicas;

$\Delta\sigma$: Diferença entre as tensões de tração e compressão no centro da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os valores encontrados no ensaio de fadiga. Foi elaborado o gráfico do número de repetições de carga em função da diferença de tensões, em escala logarítmica e realizado a regressão, obtendo-se a equação correspondente à curva de fadiga. Para fins de análise e comparação, foram selecionados estudos consagrados na literatura que desenvolveram misturas asfálticas com composição granulométrica e tipo de ligante similares ao desta pesquisa. A Tabela 5 e o Gráfico 1 apresentam e comparam os resultados dos estudos.

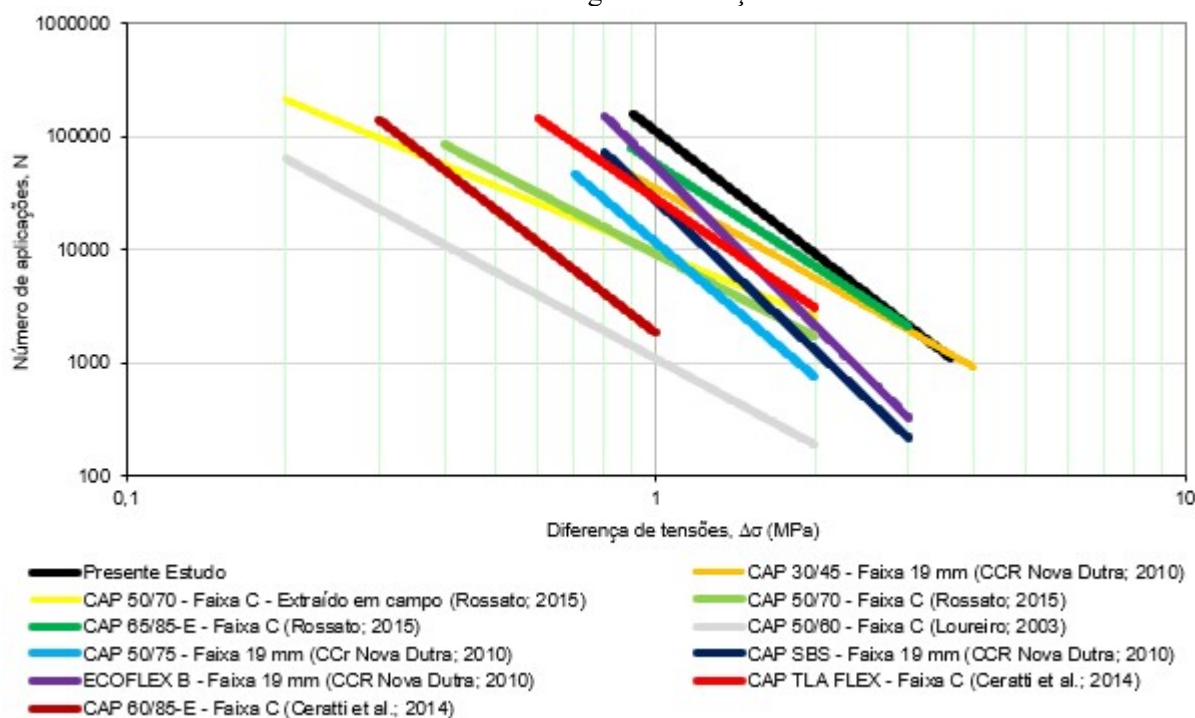
Tabela 4: Resultados do ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada

Nº do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
3	7,40	9,90	40	1061,1	8,58	3,62	1435
4	7,50	9,90	40	1075,4	8,69	3,62	1576
5	7,30	9,90	30	785,1	6,37	2,71	2057
6	7,45	9,90	30	801,2	6,50	2,71	3002
7	7,60	9,90	20	544,9	4,45	1,81	10132
8	7,40	9,90	20	530,5	4,33	1,81	9301
9	7,45	9,90	10	267,1	2,22	0,90	255616
10	7,52	9,90	10	269,6	2,24	0,90	148204

Tabela 5: Comparação com os resultados encontrados na literatura

Referências	Descrição da Mistura	Teor de ligante	Resistência à Tração (MPa)	Modelo de Fadiga	K ₁	K ₂
Presente estudo	CAP 55/75 modif. - Faixa C - Extraído em campo	5,6%	2,26	$N = 111114 (1/\Delta\sigma)^{3,597}$	111114	3,597
CCR Nova Dutra (2010)	CAP 30/45 - Faixa 19 mm	4,6%	1,98	$N = 34919 (1/\Delta\sigma)^{2,6329}$	34919	2,6329
	CAP 50/75 - Faixa 19 mm	4,5%	1,3	$N = 11577 (1/\Delta\sigma)^{3,9467}$	11577	3,9467
	CAP SBS - Faixa 19 mm	4,1%	1,58	$N = 27140 (1/\Delta\sigma)^{4,3951}$	27140	4,3951
	ECOFLEX B - Faixa 19 mm	4,7%	1,29	$N = 53959 (1/\Delta\sigma)^{4,6492}$	53959	4,6492
Rossato (2015)	CAP 50/70 - Faixa C - Extraído em campo	5,9%	1,07	$N = 9605,8 (1/\Delta\sigma)^{1,919}$	9605,8	1,919
	CAP 50/70 - Faixa C	6,9%	1,06	$N = 9125,8 (1/\Delta\sigma)^{2,427}$	9125,8	2,427
	CAP 65/85-E - Faixa C	7,4%	1,58	$N = 57641 (1/\Delta\sigma)^{3,017}$	57641	3,017
Ceratti <i>et al.</i> (2014)	CAP TLA FLEX - Faixa C	5,1%	1,59	$N = 28137,84 (1/\Delta\sigma)^{3,2}$	28137,84	3,2
	CAP 60/85-E - Faixa C	5,25%	0,83	$N = 1834,16 (1/\Delta\sigma)^{3,61}$	1834,16	3,61
Loureiro (2003)	CAP 50/60 - Faixa C	6,50%	0,94	$N = 1086 (1/\Delta\sigma)^{2,53}$	1086	2,53

Gráfico 1: Vida de fadiga x Diferença de Tensões



A resistência à tração, obtida a partir da média de dois corpos de prova, corresponde a 2,26 MPa. Este valor apresenta-se acima do limite mínimo, de 0,65 MPa, estabelecido na norma (DNIT, 2006). O valor mais próximo ao encontrado nesse estudo foi o relatado pela CCR Nova Dutra (2010), correspondente à 1,98 MPa em uma mistura enquadrada na Faixa 19 mm e com um ligante mais consistente, CAP 30/45. Os demais estudos apresentaram valor entre 0,83 e 1,58 MPa. Segundo Bernucci et al. (2022), valores típicos estão contidos no intervalo entre 0,5 e 2 MPa, podendo atingir 3 MPa, quando empregado ligante com consistência mais dura. Portanto, percebe-se superioridade do valor encontrado na mistura da BR-230/PB ao empregar um ligante do tipo 55/75 modificado.

Pode-se observar a partir do Gráfico 1 que a mistura asfáltica empregada na BR 230/PB possui curva de fadiga mais favorável quando comparado aos outros estudos. Percebe-se que quando submetido à diferença entre as tensões de 1 MPa, a mistura deste estudo pode suportar cerca de 10 vezes mais ciclos de aplicações de carga que a mistura extraída em campo do estudo de Rossato (2015) e aproximadamente 100 vezes mais ciclos de carga que a de Loureiro (2003). Isso possivelmente ocorreu devido ao emprego de um ligante asfáltico modificado por polímero, que possui menor rigidez, e à adoção de materiais britados de maior qualidade, já que a faixa granulométrica adotada nestes projetos é a mesma.

CONCLUSÃO

Este estudo analisou o comportamento mecânico da mistura asfáltica aplicada em um trecho de elevado volume de tráfego da rodovia BR-230/PB. Foram extraídas amostras em campo do pavimento recém-construído para a realização de ensaios de resistência à tração e fadiga por compressão diametral à tensão constante. Pode-se concluir que a mistura asfáltica aplicada na BR-230/PB é adequada, apresentando alta resistência à tração e um bom comportamento quanto à vida de fadiga, quando comparado aos estudos consagrados presentes na literatura.

A curva de fadiga é um dos principais parâmetros para o dimensionamento do pavimento pelo novo método MeDiNa, possibilitando prever quantos ciclos de carga o material poderá suportar. De uma forma preliminar, a comparação da curva de fadiga de um determinado material com a de outras misturas pode ser realizada para indicar qual terá melhor desempenho em um pavimento.

Nesse sentido, acredita-se que o presente artigo possa contribuir para o desenvolvimento do banco de dados sobre modelos teóricos do comportamento estrutural de materiais comumente empregados em revestimentos asfálticos, de forma a auxiliar engenheiros, projetistas e profissionais responsáveis pelo controle de qualidade, sejam de concessionárias de infraestrutura ou de órgãos reguladores, em prol do desenvolvimento de boas técnicas de pavimentação, durabilidade da infraestrutura rodoviária e melhorias das condições de conforto e segurança aos usuários.

REFERÊNCIAS

- Bernucci, I. L. B.; Motta, I. M. G.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 2ª Edição. Petrobrás, ABEDA. Rio de Janeiro, 2022.
- CCR Nova Dutra. Relatório final: Estudo comparativo do comportamento de fadiga de misturas betuminosas com diferentes teores de asfalto. PEC – 8650. UFRJ, COPPE. Rio de Janeiro, 2010.
- Ceratti, J., A., P.; Núñez, W., P.; Brito, L., A., T.; Colpo, G., B.; Hirsch, F.; Vitorello, T.; Cronst, F. Relatório final de pesquisa: Análise de fadiga de misturas asfálticas através do ensaio de flexão em viga quatro pontos. UFRGS, LAPAV, PPGCI. Porto Alegre, 2014.
- CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2019: relatório gerencial. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 20019.
- DNIT ES 031/2006: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - especificação de serviço. RJ, 2006.
- DNIT ME 136/10: Resistência à Tração. Rio de Janeiro, 2010.
- DNIT ME 183/18: Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.
- Loureiro, T., G. Estudo da evolução do dano por fadiga em misturas asfálticas. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia de Transportes. UFC. Fortaleza, 2003.
- Medina, J. de; Motta, L. M. G. da. Mecânica dos Pavimentos. Editora Interciência. 3ª ed. RJ, 2015.
- NCHRP. A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary. (NCHRP Report 673). National Cooperative Highway Research Program. Washington, D.C.: 2011.
- Rossato, F., P. Avaliação do fenômeno de fadiga e das propriedades elásticas de misturas asfálticas com diferentes ligantes em variadas temperaturas. Dissertação Mestrado. UFSM.. RS, 2015.