

## ESTUDO DESCRITIVO DA FADIGA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Everton Narciso de Oliveira (Engenheiro Civil)

Laura Haime Patrício de Oliveira (Graduanda em Eng. Civil) E-mail: [laurahaime.lh@gmail.com](mailto:laurahaime.lh@gmail.com)

Matheus Carvalho Diniz (Graduando em Eng. Civil) E-mail: [macardi\\_11@hotmail.com](mailto:macardi_11@hotmail.com)

Rafael Spindola Vasconcelos (Engenheiro Civil) E-mail: [rafaelspindola11@hotmail.com](mailto:rafaelspindola11@hotmail.com)

**Resumo:** O conforto e a segurança dos pavimentos são os principais pontos levados em consideração no momento de se planejar e executar uma estrada ou rodovia. No entanto, com o decorrer do tempo estes pontos passam a ser comprometidos devido a vários fatores, como a escassez de uma manutenção ideal, uma execução pouco eficiente. No entanto o presente trabalho irá se ater principalmente na fadiga dos pavimentos flexíveis. Que por decorrência das cargas repetitivas e dos intemperes climáticos passam a perder a sua qualidade inicial, e se encontram expostos as patologias. A principal patologia que acomete os pavimentos nos dias atuais é o fendilhamento, gerado por decorrência da fadiga no pavimento.

**Palavras-chave:** Pavimento, flexível, fadiga, fendilhamento.

## DESCRIPTIVE STUDY OF FADIGA IN FLEXIBLE FLOORS

**Abstract:** The comfort and safety of pavements are the main points taken into account when planning and executing a road or highway. However, over time these points become compromised due to various factors such as lack of proper maintenance, poor execution efficiency. However, the present work will focus mainly on the fatigue of flexible pavements. That because of the repetitive loads and the climatic intemperes they lose their initial quality, and the pathologies are exposed. The main pathology affecting today's pavements is cracking, generated as a result of pavement fatigue.

**Keywords:** Living room, flexible, fatigue, cracking.

### 1. Introdução

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolagem, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al.* 2008).

Em pavimentos flexíveis, o revestimento é composto de uma aglutinação entre o ligante asfáltico e agregado mineral, compondo a mistura asfáltica. O comportamento dessa camada vai variar conforme as características dos materiais e da associação do ligante e o agregado. O ligante asfáltico apresenta variação em seu comportamento quando passa a ser submetido as diferenças de temperatura, e esta variação é caracterizada como a fomentadora das patologias predominantes do pavimento.

Uma das patologias mais recorrente apresentada pelo pavimento flexível é o fendilhamento, que são oriundas da fadiga do revestimento e o acúmulo plástico das deformações permanentes nos trilhos de roda. O fendilhamento que será o principal foco do presente trabalho, já que se apresenta como a patologia mais usual por decorrência da fadiga, está intimamente ligada às cargas recorrentes de tráfego e pela rigidez do ligante asfáltico, que não é capaz de suportar as solicitações do tráfego quando submetido a um estado de tensões e de extensões repetidas, que resulta no aparecimento das fissuras que posteriormente quando o

devido tratamento não é aplicado e a exposição as cargas solicitantes se mantém as fissuras passam a evoluir para as fendas ou para a ruptura completa do pavimento.

Neste artigo conceituou-se os principais termos relacionados ao assunto abordado, relacionando-os de forma comparativa para um maior entendimento do tema. Foram citadas e exemplificadas as principais causas, para a identificação e prevenção de uma das principais manifestações patológicas apresentadas em pavimentos flexíveis que é o tipo de pavimento comumente mais recorrente no Brasil.

Foram realizadas pesquisas para estabelecer os principais parâmetros para o estudo da fadiga em pavimentos. Tais informações seguem constantes pelo decorrer do trabalho, principalmente no item relativo ao referencial teórico, onde o tema foi melhor explanado. Posteriormente, realizou-se uma análise de estudos de caso encontrados e estabeleceu-se uma metodologia para nortear estudos subsequentes.

### 1.1. Referencial teórico

O órgão regulamentador responsável pela definição dos termos técnicos da classificação de falhas nos pavimentos flexíveis no Brasil é o DNIT, e a respectiva Norma DNIT – TER 005 (2003), Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Terminologia. Esta Normativa é composta por anexos com quadro de resumos dos defeitos, sua codificação, classificação, representação das degradações e suas respectivas fotografias.

Segundo Fontes (2009), a adequada compreensão dos complexos mecanismos que regem a degradação (perda sucessiva da qualidade) do pavimento impõe-se como uma condição essencial para a identificação das causas que o levam à sua condição atual, e para a escolha e planejamento da técnica mais adequada para sua reabilitação.

O autor ainda ressalta que quanto aos tipos de materiais empregues, genericamente, pode-se considerar duas famílias: camadas com materiais estabilizados com ligantes (hidrocarbonados ou hidráulicos), na parte superior, e camadas com materiais granulares, estabilizados mecanicamente, em regra, na parte inferior. A principal diferença entre as duas famílias de materiais, quanto ao seu comportamento mecânico, reside no facto da primeira ter a aptidão de resistir a esforços de tração, enquanto que a segunda, resiste essencialmente a esforços de compressão.

Este tipo de pavimento, conforme suas características de base da fundação, pode ser composto pelas camadas de: revestimento, base, sub-base e reforço do subleito (Figura 1).

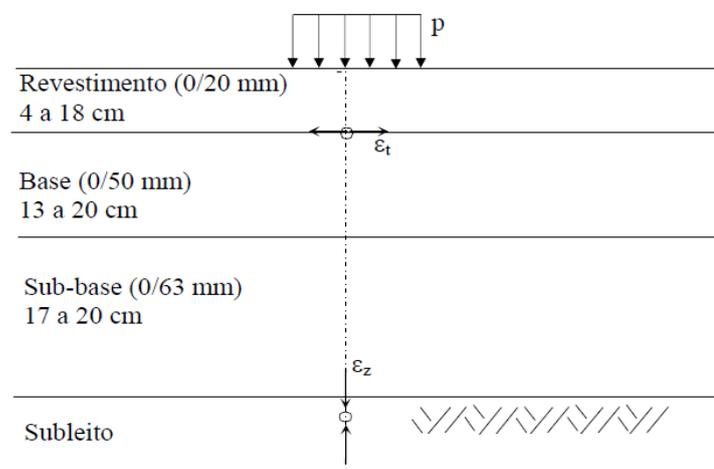


FIGURA 1: Camadas constituintes do pavimento flexível (FONTES).

Em conformidade com o DNIT (2003) e Fontes (2009) a composição e a emprego de cada camada são as seguintes:

Revestimento é a parte designada a resistir diretamente às ações do tráfego, a impermeabilizar o pavimento, a aperfeiçoar as condições de rolagem, no que se refere ao conforto e à segurança, e contribuir, ainda que de forma reduzida, para a redução dos efeitos das ações do tráfego nas camadas inferiores. Esta camada é constituída por misturas betuminosas (asfálticas).

Base é caracterizada como a camada designada a contrapor e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego onde constrói-se o revestimento, podendo ser constituída por mistura betuminosa ou por material granular, como, por exemplo, brita graduada (agregado britado de granulometria extensa). Também tem a finalidade de reduzir as deformações na camada do revestimento.

Sub-base é a camada constituída por material granular complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem económica, for conveniente reduzir a espessura da base.

Reforço do subleito é executado quando, por razões económicas, é preciso reduzir a espessura da sub-base. Pode ser constituída por material granular ou por solos com capacidade de suporte superior ao subleito.

Subleito (fundação) é a parteconstituente da base de um pavimento.

A estrutura do pavimento é mensurada para um determinado período de vida útil durante este período a estrutura deve ter a eficiência de receber e transmitir esforços, sem apresentar deformações estruturais e de funcionalidade não condizentes com os limites predeterminados. Para que a estrutura possa atuar adequadamente, as camadas que a compõe devem estar submetidas a esforços coerentes com os seus atributos e sua capacidade estrutural, de modo a não ocorrer ruptura prematura de qualquer um dos elementos que compõem a estrutura de um pavimento.

As fontes primordiais da deterioração dos pavimentos flexíveis são a intensidade do trânsito e os intemperes climáticos que formam os fatores ativos de degradação, e a qualidade dos materiais e da execução integram os fatores passivos de degradação. Para os mais distintos tipos de degradações de um pavimento flexível, se tem a existência de uma vinculação com os fatores ativos e passivos de degradação.

## **2. Fendilhamento: fissuras e trincas**

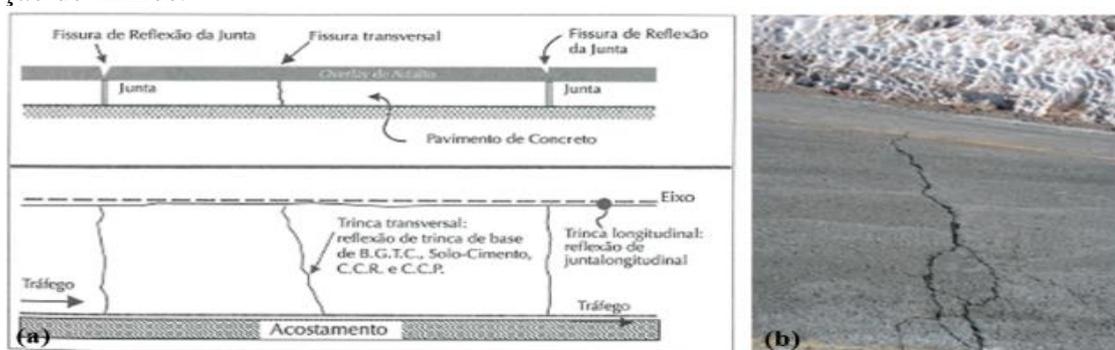
De acordo com Fontes (2009) as trincas no pavimento asfáltico são as falhas mais recorrentes nos pavimentos flexíveis. A maioria das trincas é sucedido da fadiga, isto é, devido às ações repetitivas de esforços de tração por flexão dessa camada. Esse é o primeiro sinal da redução da qualidade estrutural do pavimento. O reconhecimento visual da superfície de um pavimento fendilhado possibilita qualificar o tipo de fendilhamento da superfície do pavimento e a sua possível origem.

Quando as fendas evoluem, se diz que ouve a reflexão ou propagação das fendas. No tempo em que a reflexão se apresenta em forma de camadas novas que foram constituídas sobre uma camada que já se encontrava fendilhada, a propagação das fendas tem o seu início na camada interna betuminosa e se propaga até a camada superficial (RIBEIRO,2017).

Ribeiro (2017) ressalta ainda, que de acordo com o grau de severidade do fendilhamento o mesmo pode ser classificado em fenda de classe 1 (FC- 1) de classe 2 e de classe 3 e, quanto maior o grau, mais danosa será a fenda para o pavimento. Para trincas isoladas, deve-se utilizar a classificação FC-1, que são trincas com abertura superior às das fissuras e menores que 1 mm. A FC-2 já esta relacionada com as trincas com abertura superior a 1 mm e sem erosão aparente em suas bordas. Já a classe FC-3 consiste em trincas com uma fenda superior a 1 mm e com erosão nas bordas. Para trincas interligadas, a rotulção será sempre FC-2 ou FC-3.

As classes mais recorrentes de fendilhamento são as trincas tipo couro de jacaré ou ainda denominadas pele de crocodilo, , trincas em bloco, trincas isoladas de retração, trincas longitudinais, trincas de bordo e trincas transversais. As trincas constituídas por decorrência de fadiga podem ser classificadas como isoladas ou interligadas. As que não são geradas devido ao processo de fadiga podem ser classificadas como em bloco ou isoladas (RIBEIRO,2017).

Ribeiro (2017) qualifica ainda as fendas do tipo couro de jacaré como sendo aquela determinada por uma sequência de fendas longitudinais paralelas. Estas refletem o avanço da fadiga. A princípio se apresentam de forma isolada (figura 2(a)). Com o passar do tempo as mesmas passam a progredir, e se associar passando a ter um aspecto que se assemelha a pele de crocodilo (figura 2(b)). Tendendo a se agravar com o deslocamento dos blocos e com a concepção de ninhos.



**FIGURA 2:**Representação de uma trinca isolada (a) ilustração real da trinca (b). Fonte: Ribeiro (2017).

O fendilhamento em formato de bloco segundo Ribeiro (2017), são oriundas da decorrência do retraimento da capa asfáltica devido as variações climáticas diárias, especialmente a alternância térmica. O seu surgimento é um indicativo para demonstrar que o pavimento suportou uma transformação em sua estrutura se tornando mais rígido devido o pavimento ter sido oxidado e ou volatizado, o tornando assim com uma menor flexibilidade. O fendilhamento em formato de blocos assume um formato que se assemelham a retângulos, como representa a Figura 3. E como não estão ligados ao tráfego, podem surgir até mesmo em em regiões que apresentam pouco fluxo.

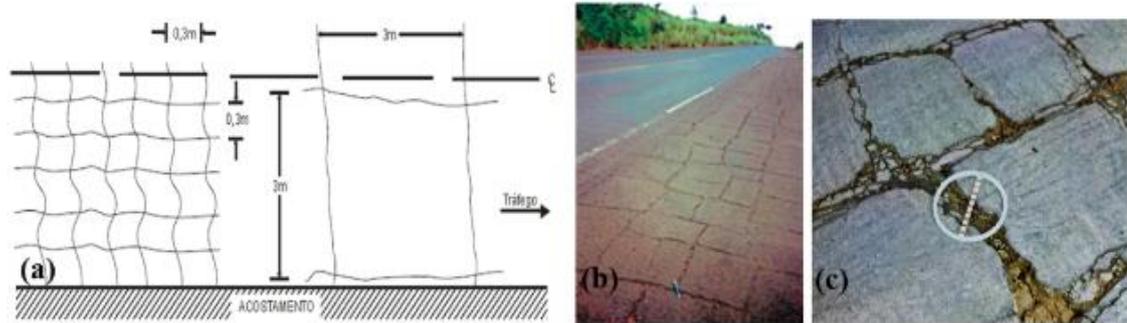


Figura 3: Representação de trinca tipo bloco (a), trinca sem incidência de erosão (b) e trinca interligada do tipo bloco (c). Fonte: Ribeiro (2017).

No entanto as trincas caracterizadas como longitudinais conforme Ribeiro (2017), são ocasionadas de maneira isolada e paralelas ao eixo do revestimento (Figura 4). Elas são provocadas, devido à uma execução mal executada da junção construtiva, reflexão das trincas, assentamento da fundação, retração do revestimento de asfalto ou estágio inicial de fadiga. São caracterizadas como longitudinais longas quando a sua extensão é superior a 1 metro, caso seja menor, são caracterizadas como curtas.

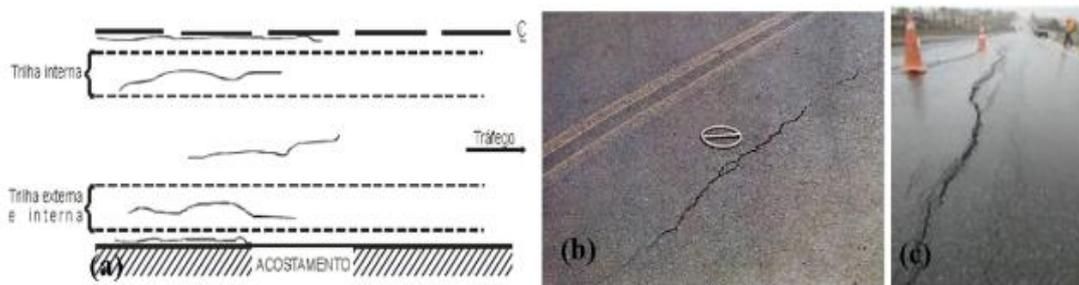


Figura 4: Representação esquemática de trinca longitudinal (a) e sua imagem real (b, c). Fontes: Ribeiro (2017).

Trincas transversais segundo Ribeiro (2017), são aquelas que se apresentam de forma isolada e são perpendiculares ao eixo da pavimentação. Se formam por decorrência da reflexão de juntas ou de fendas subjacentes ou ainda pela retração do pavimento asfáltico. É denominada transversal longa quando a sua extensão se apresentar superior a 1 metro, caso ao oposto disso, a fenda passaria a ser denominada de transversal curta. A gaçõosegre das bordas gera o início da evolução do fendilhamento, evoluindo para permeabilidade do pavimento e a posterior extenuação das partes integrantes inferiores. Representada na Figura 5.

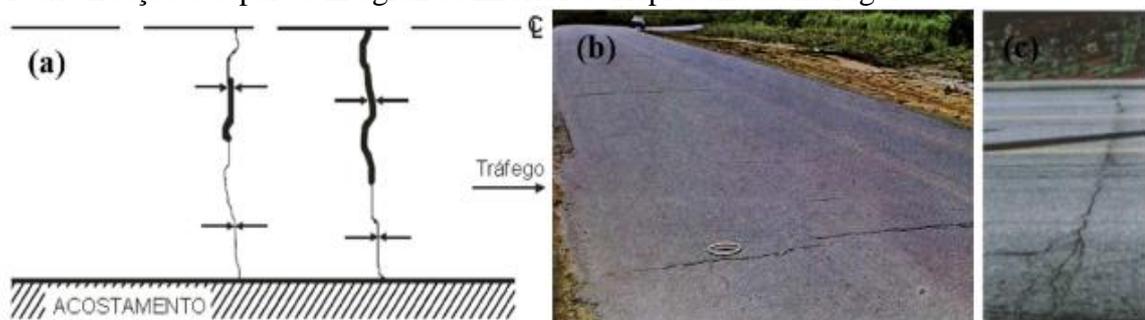


Figura 5: Representação esquemática (a) e foto de trinca transversal (b). Fonte: Ribeiro (2017).

Finalmente, Ribeiro (2017), determina o fendilhamento de bordo como a trinca formada por decorrência do acostamento não ser revestido, pois a existência de uma umidade em excesso das camadas e a espessura da camada ser menor que o ideal para o revestimento e base. Se encontra a pelo menos 60 cm da extremidade do pavimento. A Figura 6 representa um esquema desse tipo de trinca.

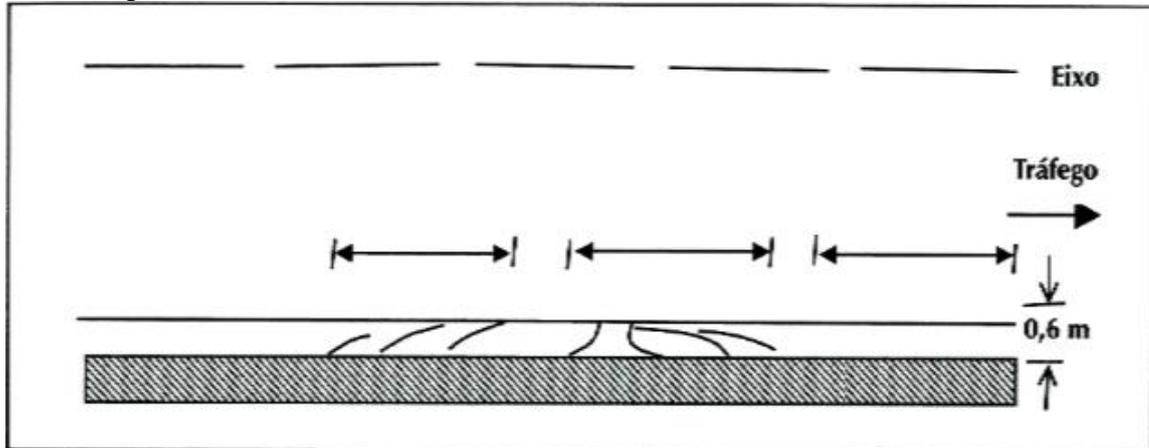


Figura 6: Representação esquemática da trinca de bordo. Fonte: Ribeiro (2017).

### 3. CONCLUSÕES

Fica nítido após o entendimento do presente trabalho, que a fadiga é a principal causadora das patologias nos pavimentos flexíveis. Já que a mesma leva o pavimento a entrar em colapso quando não tratado na fase inicial da trinca, causando danos irreversíveis ao pavimento.

Influenciando diretamente na segurança e conforto dos usuários. Podendo então ser prevenida com uma boa execução do pavimento com materiais e mão de obra especializado e de qualidade, levando em conta a preocupação com a segurança dos usuários.

### Referências

- ARAO, M.** ANÁLISE DA VIDA DE FADIGA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM DIFERENTES MISTURAS. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009440.pdf> > Acesso: 07 set. 2018.
- BIBLIOTECA DO ASFALTO FADIGA DOS REVESTIMENTOS** Disponível em: < [http://www.grecaasfaltos.com.br/artigos\\_conteudo/fatos\\_e\\_asfaltos/fatos\\_10.pdf](http://www.grecaasfaltos.com.br/artigos_conteudo/fatos_e_asfaltos/fatos_10.pdf) > Acesso: 05 set. 2018.
- BERNUCCI, L.B; MOTTA L.M.G, CERATTI, J.A.P & SOARES J.B** PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA – FORMAÇÃO BÁSICA PARA ENGENHEIROS 3ª. Reimpressão, P 487. 2010.
- COSTA, A.A & BENTA, A.** FADIGA EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/288490419\\_FADIGA\\_EM\\_PAVIMENTOS\\_RODOVIARIOS\\_FLEXIVEIS\\_UMA\\_ABORDAGEM\\_EXPERIMENTAL](https://www.researchgate.net/publication/288490419_FADIGA_EM_PAVIMENTOS_RODOVIARIOS_FLEXIVEIS_UMA_ABORDAGEM_EXPERIMENTAL) >. Acesso: 07 set.2018.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 005/2003 – DEFEITOS NOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E SEMI-RÍGIDOS TERMINOLOGIA.**
- FONTES, L. P. T. L.** *Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. Universidade Federal de Santa Catarina. 545 p., 2009.* Disponível em: < <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9601> >. Acesso em: 08 set. 2018.
- MAIA, IMC** CARATERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68091/1/000154859.pdf> > Acesso: 05 set.2018.

**MOTTA, L.M.G & MEDINA, J.** *INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO EM MECÂNICA DOS PAVIMENTOS NA COPPE – BRASIL.* Disponível em: <[http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num26/n\\_26\\_pag\\_85-97.pdf](http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num26/n_26_pag_85-97.pdf)>. Acesso: 07 set.2018.

**RIBEIRO, Thiago Pinheiro.** *Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível.* *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, Julho de 2017. ISSN:2448-0959* Disponível em: < <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimento-flexivel>>. Acesso em: 09 set. 2018.