

**ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA DA INFLUÊNCIA DA ÁGUA NA
ESTRUTURA DO PAVIMENTO ASFÁLTICO E IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMA DE DRENAGEM SUBSUPERFICIAL**

BIBLIOGRAPHIC ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF WATER ON THE
ASPHALT PAVEMENT STRUCTURE AND IMPLEMENTATION OF THE
SUBSURFACE DRAINAGE SYSTEM

Douglas Antônio Thiel¹

Revista Infinity

Revista dos Cursos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Civil e Engenharia de
Produção da Uceff.

Vol 5, n. 1, 2020

ISSN 2525-3204

¹ Engenheiro Civil graduado pelo Centro Universitário FAI, Itapiranga/SC (2018), Especialista em Estruturas pela UCEFF, Chapecó/SC (2019). Email: douglas_thiel@hotmail.com

Resumo

O Brasil é um país que optou pelo meio de transporte rodoviário como base para escoamento de produção. Diante disto, a necessidade de estradas bem projetadas e sem problemas patológicos tem relação direta com o custo de produção e com a competitividade. Todavia, é de conhecimento público que a manutenção das rodovias no Brasil não acompanha esta necessidade, sendo que grande parte das estradas brasileiras apresentam vários defeitos (GOMES; SILVA JÚNIOR, 2019). É preciso, então, de se estabelecer a relação entre estes problemas e as intempéries à qual a rodovia está exposta. Segundo Azevedo (2007), a água é um fator determinante para o aparecimento de patologias, especialmente quando localizadas nas subcamadas dos pavimentos flexíveis. Por conseguinte, o presente artigo estabelece a relação entre as patologias oriundas da presença de água na infraestrutura, os meios pelos quais se dá o surgimento do problema, bem como formas de dimensionamento do volume de água presentes na estrutura e mecanismos de escoamento, denominados de drenagem subsuperficial.

Palavras-Chave: drenagem subsuperficial; patologias; pavimentação.

Abstract

Brazil is a country that opted by the mean of road transport as base to the production flow. Therefore, the necessity of well projected and non pathological roads has a direct relation with the production cost and competitiveness. However, it is a public knowledge that the brasilian maintance of highways doesn't follow this need, with great part of brasilians roads presenting many deffects (GOMES; SILVA JÚNIOR, 2019). There is the need, then, to settle down the relation between this problems and the weather wich the highway is exposed. According to Azevedo (2007), water is a determinant factor to this pahtologies appearence, speccially when localized in flexible pavements sublayers. Therefore, the present article establish the relation between the pathologies arising from the presence of water in the infrastructure, the ways the problem comes up, as well the ways of water volume sizing and the flow mechanisms, called subsurface drainage.

Key-words: subsurface drainage; pathologies; paving.

Considerações Iniciais

O Brasil é o maior país da América Latina, cuja produção e população utilizam de transporte rodoviário como principal meio de locomoção. Este modal de transporte é o mais demandado na pátria brasileira, especialmente após a introdução da indústria automobilística nos anos 1950, somado ao Plano desenvolvimentista implantado no Período Militar (1964-1985), na qual se deu grande ênfase a abertura e pavimentação de estradas (SILVA, 2018).

Sabe-se que as técnicas de projeto, execução e manutenção de rodovias evoluíram muito desde então, especialmente com os ensaios acadêmicos e compartilhamento de informações no campo científico-intelectual.

Dentre as formas de pavimentação, flexível e rígida, a grande maioria das rodovias é composta da primeira, com concreto asfáltico. Porém, este tipo de pavimentação requer cuidados na fase de projeto e manutenções corretivas quando acometidas por patologias, que se não tratadas se intensificam (GOMES; SILVA JÚNIOR, 2019).

Pesquisas da Confederação Nacional dos Transportes (CNT) apresentam dados de que mais da metade das rodovias brasileiras tem problemas relacionados à patologias, causando desconforto aos usuários, que às classificam como ruins ou péssimas (GOMES; SILVA JÚNIOR, 2019).

Por conseguinte, inúmeros estudos buscam realizar a interpretação destas patologias e suas origens, visto que as causas são cruciais para a manutenção e para a correção da prática de execução em projetos futuros.

Um dos problemas mais comuns correlacionado às intempéries é a presença de água nas subcamadas, ou seja, aquelas imediatamente abaixo do pavimento flexível. Estas cumprem papel estrutural na estabilidade da pavimentação visto que, como o próprio nome sugere, a camada de rodagem é flexível.

Assim, compõe etapas do projeto de engenharia entender os meios pelos quais a água penetra no leito, base e sub-base, com consequente capacidade de mensuração de volume. Na sequência, cabe ao profissional projetista prover mecanismos de escoamento desta água, por meio de estruturas combinadas denominadas de drenagem subsuperficial.

Com a implantação destas obras de infraestrutura tem-se a garantia de que não haja prejuízos às funções estruturais do pavimento, compondo etapas cruciais para a qualidade das rodovias.

Desenvolvimento

É de conhecimento público o fato de que o Brasil, dentre os modais de transporte disponíveis para escoamento de produção e fluxo de pessoas, optou pelo modelo rodoviário. Tal predileção acaba por gerar a necessidade de rodovias em bom estado de conservação que, conforme define Faleiros (2005), é composta de uma faixa de pavimento capaz de resistir aos esforços verticais provenientes do tráfego de veículos, bem como de prover conforto e segurança aos seus usuários.

Todavia, Balbo (2007) expõe que o sistema de pavimentação viária mais utilizada na pátria brasileira, o concreto asfáltico, frequentemente apresenta danificações e

deteriorações oriundas do uso normal ou não projetado da via, ocasionando avarias nas propriedades mecânicas do pavimento. Estes defeitos são definidos como patologias e apresentam origens nas mais variadas formas, desde incongruências quando da fase de projeto até a utilização inadequada da via.

Uma das formas de patologia mais severa e que acomete boa parte das rodovias brasileiras é a denominada de panela, também conhecida vulgarmente por buraco. Silva (2005) afirma que esta avaria é caracterizada por uma cavidade formada no revestimento e que pode vir a corromper até a base das camadas que integram o pavimento, sendo que tal problema geralmente é produto da evolução de outro tipo de patologia preliminar, cuja investigação da origem do fenômeno é mais importante que sua simples correção, mesmo que o processo de manutenção geralmente se concentre no segundo.

Marques (2014) corrobora a tese na qual as patologias mais severas são precedidas por outras, propondo que, sob efeito das intempéries, os defeitos menores se acentuam e acabam provocando a desagregação das camadas com infiltração ou exsudação de água. Aí reside a importância do projeto de pavimentação ter condições, com base técnica e histórica, de mensurar os efeitos causados pelas intempéries e de propor soluções para que a exposição ao meio produza os menores impactos possíveis no pavimento.

Wang, Zhou e Gao (2019) ressaltam a importância que as alterações das condições climáticas, como variações de temperatura e índice pluviométrico, tem na capacidade de carga e no desempenho dos pavimentos asfálticos. O aparecimento de patologias como sulcos, rachaduras e envelhecimento precoce tem associação com as condições climáticas à que o pavimento é submetido.

Percebe-se, por conseguinte, a associação inerente que há entre as intempéries, especialmente a água das chuvas, e as patologias de pavimentos. Tendo essas um papel ímpar no aparecimento e no agravamento dos defeitos, em especial a propriedade física dos fluídos de ser incompressível (VILANOVA, 2010), a deficiência na drenagem subsuperficial do pavimento se apresenta como fator determinante à vida útil e a manutenção das propriedades mecânicas das rodovias.

Desta forma, o sistema de drenagem de superfície, somado aos drenos subsuperficiais, são cruciais para a manutenção das propriedades de resistência esperadas do pavimento.

Tratando especificamente da drenagem de superfície, muito embora a presença de água seja facilmente corrigida com inclinação do greide da rua e implantação de sistema

adequado do conjunto formado por bocas de lobo, tubulação de direcionamento para deságue e meio fio, ou então sistema de sarjeta, a permanência de água na pista pode, além dos problemas de aderência dos veículos, causar “efeitos adversos na (...) medida em que propicia a formação de poças que vão afetar negativamente a segurança e o desempenho das rodovias” (DNIT; 2006, p. 99).

Infiltração de água na estrutura do pavimento e seus efeitos

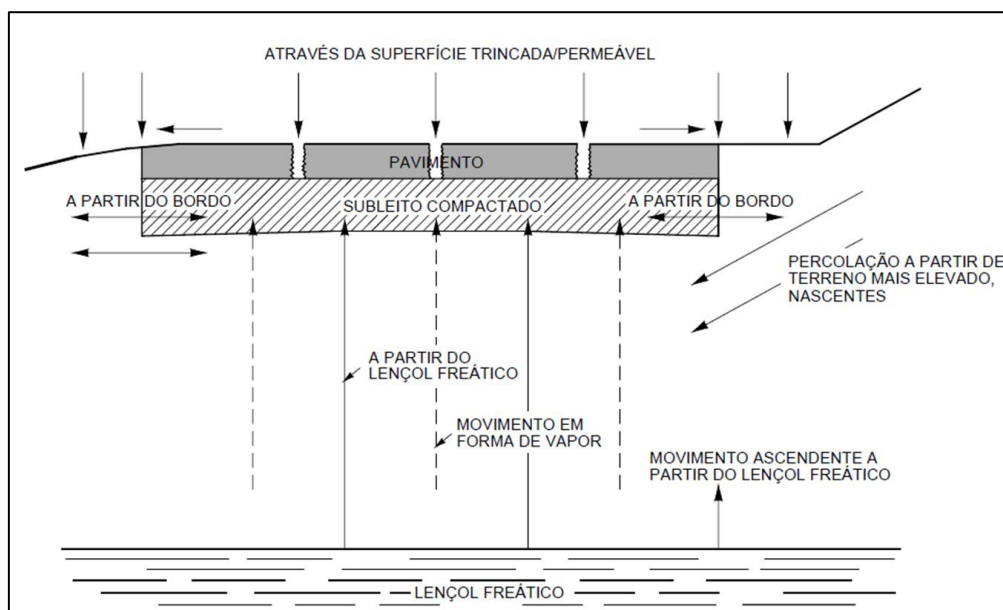
O maior problema relacionando as intempéries com a estabilidade das camadas que formam o pavimento está na saturação das camadas de leito e subleito, às quais é atribuída a função de garantir resistência necessária e a mínima deformação possível quando da aplicação das cargas das rodas que transitam pelo pavimento. Estas devem se manter secas, o que, por conseguinte, remete à um sistema de drenagem eficiente como premissa para a estabilidade da faixa de rodagem (AZEVEDO, 2007).

O malefício da existência de água nas camadas imediatamente abaixo do pavimento encontra explicação na hidrostática, visto que quando da aplicação de determinada força exercida pelas rodas há o processo de bombeamento do material encontrado nas subcamadas do pavimento, fazendo com que as partículas de solo sejam carregadas ou deslocadas pela água. Como não há locais para evasão deste material, geralmente ocorre a erosão destes para a superfície, dando origem à pequenas trincas ou seções variadas. A formação da capilaridade acabará por abrir duto a este fenômeno que tornará a repetir, aumentando o defeito em tamanho e intensidade (SUZIKI, AZEVEDO e KABBACH, 2013).

Crucial, portanto, é entender as formas de como a água chega até o interior do pavimento, que estão demonstradas na Figura 1. Pereira (2003, p.39), às apresenta:

“[...] através de superfícies permeáveis, juntas, trincas ou fissuras; infiltração lateral de águas acumuladas em canteiros, acostamentos não revestidos e sarjetas não estanques; fluxos de água ascendentes, provenientes de lençol d’água elevado, nascente e enchentes de rios; sucção capilar; condensação de vapor d’água como resultado das variações da temperatura e pressão atmosférica.”

Figura 1 – Formas de infiltração de água nas camadas subsuperficiais do pavimento



Fonte: Pereira (2003).

A infiltração de água através da superfície é a forma pela qual a água chega às subcamadas do pavimento por meio da percolação nas trincas ou outros defeitos, sejam de execução ou como subproduto de patologias. A quantidade de água infiltrada depende de vários fatores: da declividade superficial, da permeabilidade da camada de base e da capacidade de remoção de água pelo sistema de drenagem subsuperficial. A AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) aponta método de cálculo de índice de infiltração de pavimento (Equação 1), baseado na dimensão de trincas ou áreas de infiltração, seu espaçamento e o coeficiente de permeabilidade das subcamadas do pavimento (PEREIRA, 2003).

$$Q_i = 3,53 \cdot 10^{-6} \cdot I_c \left[\frac{N_c}{W} + \frac{W_c}{W_{Cs}} \right] + k_p \quad (1)$$

Q_i = índice de infiltração de projeto ($m^3/s/m^2$ de camada drenante)

I_c = índice de infiltração das trincas (recomendado $2,58 \times 10^{-6} m^3/s/m$ de trinca);

N_c = número de trincas que permitem entrada de água;

W = largura da camada de base granular sujeita à infiltração (m);

W_c = número de trincas transversais que permitem entrada de água;

W_{Cs} = Espaçamento entre as trincas transversais (m);

k_p = coeficiente de permeabilidade da camada de rolamento ($m^3/s/m^2$).

Assim, para determinação do volume infiltrado de água, propõe-se adoção em projeto de precipitação com duração de 1 hora, com período de retorno de 2 anos. A quantidade de água infiltrada se obtém do produto do índice de chuva pelo coeficiente de infiltração, apresentado na Equação 1. Todavia, este volume calculado pode sofrer influência de inúmeras variáveis ao longo da vida útil, considerando aumento de áreas de infiltração decorrentes de patologias, manutenções ou interferências (SANTOS JÚNIOR, 2013).

Outro meio pelo qual a água pode se infiltrar no pavimento se dá pela borda do mesmo. A ausência de sarjetas ou de redes de canalização de água gera acúmulo de água nas periferias, que encontram na sub-base local para deposição e saturação. Ainda, outra forma pelo qual o processo pode ocorrer se dá quando há tubos de drenagem ou condutores danificados, em contato direto com o leito, criando canal comunicante. O método de cálculo para quantificar as águas de bordo se dá pelo produto da área, precipitação e taxa de infiltração do solo (AZEVEDO, 2007).

Além destes dois fatores apresentados, há que se considerar também o relevo circunvizinho e a existência de possíveis áreas contribuintes para os bordos dos pavimentos, cujo sistema drenante da superfície pode se mostrar ineficaz para fluidos que provém destas áreas, sendo necessária a execução de um dreno paralelo com a via. Este fenômeno geralmente se observa em regiões onde há áreas de corte com contribuição aparente de águas, sejam pluviais ou de subsolo (UHDE; WAYHS; ECHEVERRIA, 2016).

Moulton (1980) afirma que estes dois mecanismos de infiltração de água, por meio da superfície e pelo bordo, são os principais fatores que danificam a estrutura do pavimento. Muito embora haja também a movimentação interna de vapor em decorrência dos deltas de temperatura, estes são desprezíveis em comparação aos efeitos da água livre no interior da rodovia.

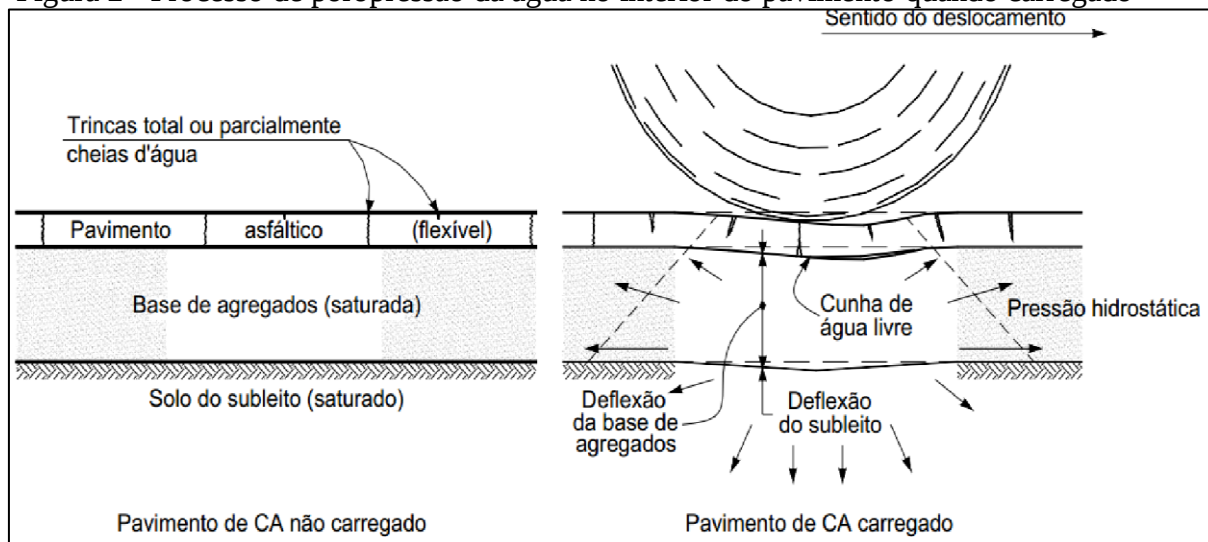
Em se tratando de pavimentos flexíveis, Santos Júnior (2013, p. 21) aborda que:

[...] realizaram-se uma grande quantidade de estudos e investigações sobre os mecanismos de deterioração e falência dos pavimentos [...]. Os principais são: bombeamento de finos, devido à poropressão elevada gerada pelo tráfego; redução da capacidade de suporte de materiais não estabilizados da estrutura do pavimento; e comportamento insatisfatório de solos expansivos devido à presença de água.

Poropressão

A poropressão (Figura 2) consiste no preenchimento dos vazios existentes nas camadas inferiores à faixa de pavimento com água, havendo redução da capacidade de suporte.

Figura 2 - Processo de poropressão da água no interior do pavimento quando carregado



Fonte: Pereira (2003).

Cedergren (1973) afirma que, quando da aplicação das pressões das rodas dos veículos, os impactos produzidos sobre a água são comparados à ação do Golpe de Aríete. O princípio de Pascal, no qual a pressão aplicada a um fluido confinado é transmitido igualmente para todos os pontos do fluido, inclusive seu recipiente, explica o fenômeno de expulsão de solo, agregado ou até mesmo do revestimento. Aplicando-se, de forma conjunta, estes dois princípios físicos se pode perceber o efeito nocivo da saturação ou presença de água livre nas infraestruturas do pavimento.

Perda de capacidade de suporte

A perda de capacidade de suporte também é outro fator determinante para a conservação das rodovias. A água percolada para a base, sub-base e leito acaba por gerar efeito de saturação do material granular, cujos vazios são ocupados pelo fluido, que aumentam de volume, diminuindo a capacidade de resistência ao cisalhamento. Quando se tem o retorno à umidade ótima, os vazios gerados pela expansão anteriormente preenchida por água tornarão o solo poroso e, por consequência,

acarretarão na redução do módulo de resiliência, resultando em deformações plásticas (AZEVEDO, 2007).

Suziki, Azevedo e Kabbach (2013) conceituam a umidade ótima como aquela preconizada no início da construção para estabilidade das subcamadas. Salientam, em sequência, que as camadas subjacentes ao pavimento se tornam rapidamente instáveis quando seus materiais constituintes se tornam saturados, principalmente após o período de chuvas e quando sujeitos a elevadas cargas do tráfego. Esta instabilidade se reflete no pavimento, em patologias do tipo afundamento de roda, por exemplo.

Para fins de cálculo desta perda de capacidade de suporte, Pereira (2003) apresenta que a AASHTO instrui procedimento por meio do Módulo de Resiliência Efetivo do Subleito (Equação 2), no qual é considerado o dano estimado por períodos do ano igualmente divididos. Com base neste coeficiente obtido, poder-se-á mensurar os efeitos da função da precipitação associada a solicitação de carga dos veículos nas rodovias.

$$u_i = 1,18 \times 10^8 \times MR_i^{-2,32} \quad (2)$$

u_i = dano relativo unitário;

MR_i = módulo resiliente do subleito.

Takeda (2006) faz uma associação entre a definição do módulo resiliente com o tipo de solo. Nos granulares, a quantidade de água presente e a saturação não tem efeito significativo, haja visto que reduziu-se cerca de 20% o valor do módulo. Já em solos finos, quando saturados com água, a redução variou de 50 à 75%, comprometendo significativamente a capacidade de resistência.

Pode-se perceber, por conseguinte, que ambos os processos de presença de água na infraestrutura geram o fenômeno definido por Silva et. al (2018, p. 5) como “subida de finos”:

A subida de finos ocorre na movimentação dos materiais constituintes das camadas. Ocorre quando, na presença de água oriunda de problemas de drenagem e infiltração, são expulsos do interior do pavimento através de fendas. A expulsão dessa água acontece quando os veículos exercem compressão no momento da sua passagem na rodovia.

Mecanismos de drenagem subsuperficial

Ponto comum aos autores, portanto, é a necessidade de se criar mecanismos com o objetivo preliminar de impedir que a água se infiltre nas subcamadas do pavimento, a fim de que não se originem as patologias facilmente encontradas e relacionadas pela FHWA (*Federal Highway Administration*). Azevedo (2007) relaciona, com base na FHWA, que as seguintes patologias tem direta relação com a presença de água nas subcamadas: inchamento, corrugação, afundamento de trilho de roda, ondulação, depressão, panelas e trincamentos em todas as suas variações.

Diante disto, sabendo que as condições de manutenção e que as variáveis de execução não são suficientes para garantir a impermeabilidade do pavimento, impedindo que a água percole para a base e sub-base, sugere-se que seja implantado infraestrutura que consista em transformar as subcamadas em áreas drenantes.

Estes tipos de infraestrutura mencionados são chamados de drenos subsuperficiais. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2006, p. 2), define drenos subsuperficiais como “dispositivos instalados nas camadas subjacentes dos pavimentos de cortes ou aterros que, liberando parte da água retida, aliviam as tensões e propiciam a preservação dos pavimentos”.

Camada drenante

Percebendo, portanto, que não é somente a drenagem de superfície necessária para suportar as solicitações de serviço do pavimento, Santos Jr. (2013, p. 47) descreve a base e sub-base como etapas que devem ser projetadas como camadas drenantes. Segundo o autor, estas devem servir:

[...] como um reservatório para o excesso de água que entra na estrutura do pavimento. A capacidade da camada de drenagem, então, é uma função da capacidade de armazenamento da camada e a quantidade de água que ela escoar durante um evento de chuva.

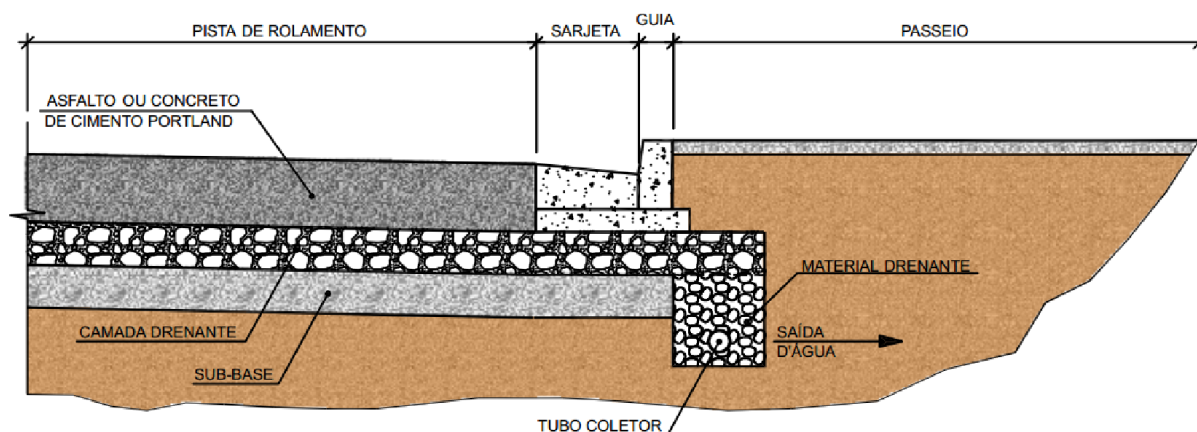
O autor correlaciona modelos matemáticos que podem ser aplicados para determinação da capacidade drenante, levando em consideração especialmente a porosidade do material e o tempo necessário para escoamento do fluido.

Assim, surge como premissa já na fase de elaboração de projeto o correto dimensionamento do sistema de drenagem subsuperficial.

O sistema denominado de camada drenante (Figura 3), situada logo abaixo da estrutura do pavimento, tem por objetivo ser permeável e propiciar o escoamento da

água. Azevedo (2007) ressalta que a camada na qual esta será implantada deve ter considerado o índice de percolação das camadas imediatamente acima, bem como considerar a possível perda de capacidade, previamente explanada, para que não haja prejuízos nas propriedades mecânicas de resistência.

Figura 3 - Esquema demonstrativo de camada drenante



Fonte: Azevedo (2007).

Ainda, deverá ser considerada a aplicação de filtros, composta de agregados com granulometria apropriada definida por cálculo, a fim de que não haja migração de finos para o sistema de drenagem, com consequente perda de material das camadas e redução da resistência, com aumento do índice de vazios (UHDE; WAYHS; ECHEVERRIA, 2016).

Estes filtros são necessários para permitir que haja constante fluxo de água de uma camada para outra sem que haja também a transferência de materiais com granulometrias diversas e que devem compor as infraestruturas do pavimento com garantia de resistência. Como requisito de cálculo, o filtro deve ser capaz de possibilitar a passagem de água e a retenção de sólidos evitando, assim, a colmatagem, devendo atender a Equação 3 (SANTOS JÚNIOR, 2013).

$$\frac{D_{15} \text{ (filtro)}}{D_{85} \text{ (solo)}} \leq 5 \quad (3)$$

D_{15} (filtro) = diâmetro de 15% passante na camada filtrante (m);

D_{85} (solo) = diâmetro de 85% passante do material do solo (m).

Santos Júnior (2013) cita também que outro requisito de cálculo está na capacidade do filtro em permitir a passagem do fluido, devendo ser suficientemente permeável. Caso não seja atendido o requisito de cálculo apresentado na Equação 4, o sistema de filtro poderá atuar como mecanismo de poropressão, anteriormente explanado.

$$\frac{D_{15} \text{ (filtro)}}{D_{15} \text{ (solo)}} \leq 5 \quad (4)$$

D_{15} (filtro) = diâmetro de 15% passante na camada filtrante (m);

D_{15} (solo) = diâmetro de 15% passante do material do solo (m).

Atualmente, há a indicação do uso de mantas geotêxtis em substituição aos filtros, visto que tem um custo benefício mais elevado, principalmente pela facilidade de aplicação em comparação à implantação de uma camada filtrante de agregados. Susunaga (2015, p. 4) define que “geotêxteis são mantas de fibras ou filamentos tecidos ou não tecidos. [...] São flexíveis e permeáveis. São utilizados para as aplicações de separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosões”. Realçam-se as propriedades mecânicas de alta resistência à compressão e tração, bem como a propriedade hidráulica de permeabilidade e transmissibilidade, definida como capacidade de transportar água pela sua extensão.

Drenos longitudinais de borda

Além do exposto, outro elemento importante para a eliminação de águas está na execução de drenos longitudinais de borda, denominados também de drenos longitudinais rasos. Interligados com a camada drenante, recebem a água destas e as conduzem longitudinalmente, por meio de valas de trincheiras, até o ponto de deságue projetado. Em geral, este sistema é executado com agregados associados ou não a tubos, com objetivo de dar vazão ao sistema. A dimensão, o tamanho dos elementos de dreno e o espaçamento entre pontos de deságue devem ser obtidos por meio de cálculo que considere o volume percolado, o índice pluviométrico, a porosidade do material drenante, o tempo de drenagem e a declividade prevista (AZEVEDO, 2007).

Para os sistemas de drenagem apresentados, o método de cálculo desenvolvido e aplicado por Cedergren tem como princípio de dimensionamento que toda vazão de entrada é igual à de saída. Já o método de Ridgeway, recomendado pela *Highway Subdrainage Manual*, da FHWA, considera o tempo necessário para drenagem como

fator para dimensionamento, ou seja, as vazões percoladas e escoadas tem diferença (PEREIRA, 2003).

Pereira (2003) afirma que a alocação do dreno de bordo pode variar de acordo com a seção transversal da via. Entretanto, é condicionante que este esteja conectado com a camada drenante projetada, especialmente no que tange ao direcionamento da tubulação e os pontos de deságue. Além deste fator de comunicação com a camada drenante, a posição do dreno longitudinal deve ser alocado em posição que seja capaz de recolher as águas provenientes das encostas ou de acúmulos laterais, em função primária.

Manutenção e conservação do sistema de drenagem subsuperficial

Consideradas as etapas de execução, Cedergren (1973) cita ainda que constitui fator crucial a garantia de manutenção do sistema. Não raras vezes em que intervenções nas pavimentações, decorrentes de obras complementares ou até mesmo de alterações subjacentes, acarretam em intercepções no sistema subsuperficial de dreno, alterando a capacidade de escoamento. Raízes de árvores ou vegetações, bem como diminuição da capacidade de percolação por deposição de finos também são relacionados como agentes que diminuem drasticamente a função de projeto do sistema.

Com base nos procedimentos explicitados, tanto de cálculo quanto de funcionalidade, remete-se novamente à fase de projeto. Mallela, Titus-Glover e Darter (2000) apontam que o projeto do sistema de drenagem subsuperficial deve seguir os seguintes passos:

- a) Análise da necessidade de implantação do sistema;
- b) Determinação do sistema mais adequado para as condições locais;
- c) Dimensionamento da contribuição e sua interface com a estrutura do pavimento;
- d) Especificação de materiais;
- e) Especificação dos métodos de execução.

Além destas, acresce-se a garantia de funcionamento da drenagem. Constatase que o sistema de manutenção de rodovias está pautado, de uma maneira mais incisiva, na recuperação da faixa de rodagem, concentrando-se no sintoma e não na causa da doença, em função análoga. Muito embora haja manutenções complementares, como limpeza de encostas, desobstrução de sistemas de sarjetas, a drenagem subsuperficial e as vistorias em tubulações de drenagem dificilmente são objeto de recuperação por parte dos mantenedores das rodovias. O sistema de drenagem subsuperficial, por ser infraestrutura, muitas vezes não é monitorado, avaliado ou recuperado, muito embora a

deficiência de operação acarrete em patologias que, mesmo após recuperação da camada asfáltica, tornarão a repetir.

Barca e Nogueira (2015) apontam que a manutenção preventiva do sistema de drenagem se dá por meio da limpeza do sistema. Ainda, corroboram a tese de que o sistema de drenos é fator determinante para assegurar o desempenho esperado das camadas do pavimento, acelerando o processo de deterioração das obras no caso de estarem com funcionalidade comprometida, ligando-se o fato ao aparecimento de patologias diversas.

Considerações finais

O Brasil é um país totalmente dependente de sua malha viária, seja para escoamento da produção, seja para fluxo de pessoas. É sabido que os baixos investimentos em outros modais de transporte geraram dependência pelas estradas em todo território nacional.

A maioria das rodovias brasileiras possui sistema de pavimentação de concreto asfáltico. Este sistema de pavimentação flexível supre a demanda por faixas de rodagem de fácil execução e com custo benefício relativamente eficiente ante as condições de solicitação de fluxo e de exposição às intempéries.

Entretanto, este tipo de pavimento carece de constantes manutenções, dadas as patologias que surgem no decorrer de sua vida útil. Todavia, se constata que os investimentos na recuperação nem sempre acompanham a demanda crescente no fluxo viário brasileiro.

A fase de projeto se apresenta, por conseguinte, como fator determinante para se angariar informações acerca da demanda das rodovias e das condicionantes naturais que podem vir a reduzir a sua vida útil.

A drenagem das águas, sejam pluviais ou decorrentes de elevação do lençol freático, deve comprovadamente concentrar-se não única e exclusivamente nos efeitos superficiais constatados na faixa de rodagem, como perda de aderência da roda e acúmulo local. É necessário que haja um estudo preliminar a fim de se averiguar a influência dela quando percolada nas camadas de infraestrutura do pavimento, que no caso do concreto asfáltico, cumprem função mecânica de resistência.

Assim, um sistema de drenagem subsuperficial é crucial para se evitar que patologias das mais variadas formas surjam e evoluam, provocando além de perda de resistência, risco aos condutores e prejuízos diretos e indiretos ao tráfego.

Sabe-se, entretanto, que há inúmeros outros fatores, como excesso de carga, qualidade do material aplicado na base, sub-base e pavimento, estabilidade geológica do leito, entre outros, que podem ser correlacionados com a eficiência e vida útil dos pavimentos. Todavia, conforme aponta Azevedo (2007) a implantação de sistema de drenagem, especialmente o subsuperficial, cuja função é impedir que os processos físicos de poropressão e perda de capacidade de suporte aconteçam, é fator primordial para o não aparecimento das patologias relacionadas pela FHWA.

Encontra-se assim uma relação direta entre os fenômenos percebidos nas subcamadas do pavimento com o aparecimento de patologias. Há comprovado, portanto, que os acontecimentos físicos provocados pela interação da água com a estrutura das rodovias é prejudicial para a conservação das estradas.

Assim, inicialmente a determinação da quantidade de água percolada, seja pela permeabilidade do pavimento em decorrência de defeitos preliminares, seja pelo bordo deste, se apresenta como fator primordial para o correto dimensionamento do sistema de drenagem. Mesmo na fase de projeto, é possível que se mensure a infiltração em determinado período quando da existência de áreas de permeabilidade.

Na sequência, projetar uma camada drenante, que funcione como um caminho para escoamento da água subsuperficial para as bordas é a garantia de que todo fluido infiltrado no pavimento não cause os danos físicos anteriormente apresentados.

De forma paralela às bordas, a implantação de um sistema de drenagem capaz de receber a água da camada drenante, bem como de interceptar fluidos provenientes de chuvas ou de encostas, conduzidas por tubos ou por valas cegas até áreas de deságue, é uma estrutura que deve compor o projeto, a fim de colaborar para a durabilidade e garantia de vida útil de serviço do pavimento.

Assim, cabe ao engenheiro projetista o correto dimensionamento dos sistemas de drenagem com base nos métodos apresentados. As inúmeras variáveis que envolvem o projeto de engenharia de pavimentações, especialmente no que tange aos sistemas de dreno - talvez o elemento mais importante do processo de concepção de rodovias -, garantirão que as extensas malhas rodoviárias utilizadas no Brasil tenham boas condições de trafegabilidade, com menor custo de manutenção possível.

Referências

AZEVEDO, Angela Martins. **Considerações sobre a drenagem subsuperficial na vida útil dos pavimentos rodoviários**. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARCA, Maria Alonso; NOGUEIRA, Sara Pereira. **Análise de técnicas de conservação de pavimentos rodoviários**. 2015. 139 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CEDERGREN, H. R. **Drainage of Highway and Airfield Pavements**. New York, Wiley, 1973.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 016: Drenagem - drenos subsuperficiais - especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006.

FALEIROS, L. M. **Estradas: pavimento**. Franca/SP, USP – Curso de Engenharia Civil, Notas de aula, Jul/2005, 39p.

GOMES, Matheus Lucas Brito; SILVA JÚNIOR, Flávio Vieira da. **Patologia em pavimentos flexíveis: estudo de caso para o estacionamento do ITPAC Porto**. **Inventionis**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 1-11, 21 maio 2019. Companhia Brasileira de Produção Científica.

MALLELA, J.; TITUS-GLOVER, L.; DARTER, M.I. **Considerations for providing subsurface drainage in jointed concrete pavements**. Transportation Research Record 1709, p.1-10. Transportation Research Board, 2000.

MARQUES, Gabriele Born. **Análise de pavimento flexível: estudo de um trecho crítico na rodovia ers-421**. 2014. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

MOULTON, L. K.. **Highway subdrainage desing**. Washington: University Of Michigan Library, 1980. 170 p.

PEREIRA, Antonio Carlos Oquendo. **Influência da drenagem subsuperficial no desempenho de pavimentos asfálticos**. 2003. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SANTOS JÚNIOR, Edmir José dos. **Estudo da drenagem subsuperficial e subterrânea de sítios aeroportuários**. 2013. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil - Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2013.

SILVA, Cristiano de Araújo. **Estudo de caso de patologia em rodovia do oeste do Paraná**. 2018. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unipar, Toledo, 2018.

SILVA, Fabiano de Almeida; OLIVEIRA, Everton Narciso; SILVA, Thaynara Pereira; ALVES, Yure. Patologias: estradas e pavimentação. : Estradas e pavimentação. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, São Paulo, p. 108-119, nov. 2018.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2005.

SUSUNAGA, Maria Paula S.. **Geotêxteis em separação de camadas de pavimentos**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SUZIKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; KABBACH JR, Felipe Issa. **Drenagem subsuperficial de pavimentos: conceitos e dimensionamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

TAKEDA, Marcelo de Castro. **A influência da variação da umidade pós-compactada no comportamento mecânico de solos de rodovias do interior paulista**. 2006. 276 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

UHDE, Bruna Thays; WAYHS, Carlos Alberto Simões Pires; ECHEVERRIA, José Antonio Santana . **XXI Jornada de Pesquisa**. Ijuí: Salão do Conhecimento, 2016. 7 p.

VILANOVA, Luciano Caldeira. **Mecânica dos Fluidos**. 3. ed. Santa Maria: Escola Técnica Aberta do Brasil, 2010. 82 p.

WANG, Chao; ZHOU, Xianxin; GAO, Guodong. Study on Climate Impacts on Asphalt Pavement in Tibet, China. **Journal Of Geoscience And Environment Protection**, [s.l.], v. 07, n. 10, p. 49-59, 2019.