

INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO, DA DRENAGEM, DA BANDA DE RODAGEM E DA VELOCIDADE NO FENÔMENO DE HIDROPLANAGEM

Luciano Gardano Elias Bucharles

José Leomar Fernandes Júnior

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

O estabelecimento da hidroplanagem como causa de um acidente de trânsito não é uma tarefa fácil. A simples presença de água sobre a superfície do pavimento, no momento do acidente, não é garantia de que tenha ocorrido hidroplanagem. O levantamento correto de informações, tanto da pista quanto do veículo, permite uma análise mais adequada da real causa do acidente. A atribuição de responsabilidade do acidente deve ser não somente ao condutor do veículo, mas, em alguns casos, ao órgão responsável pela manutenção da rodovia, uma vez que as condições de aderência do pavimento podem estar abaixo dos limites de segurança recomendados. Para tanto, devem ser verificados os parâmetros relacionados à macro e microtextura do pavimento, à drenagem superficial da via, ao tipo e características do pneu, à intensidade de precipitação e à velocidade desenvolvida pelo veículo no momento do acidente.

1. OBJETIVO DO TRABALHO

Em todo o mundo morrem, anualmente, mais de um milhão de pessoas em decorrência de acidentes de trânsito, sendo de aproximadamente 40 milhões o número de pessoas lesionadas (Sany e Navin, 2004). Os pavimentos são responsáveis por aproximadamente 30% dos acidentes e estudos norte-americanos indicam que 14% de todos os acidentes com vítimas fatais ocorrem com pistas molhadas (Pottinger e Yager, 1986), número quatro vezes superior ao de acidentes que ocorrem em pistas secas (Wambold *et al.*, 1986). Os acidentes devido à hidroplanagem geralmente acontecem em situações especiais, com a combinação de fatores, tais como velocidade, espessura da lâmina d'água, pressão hidrodinâmica, textura do pavimento e condições dos sulcos dos pneus, que exigem, portanto, um estudo mais aprofundado antes do estabelecimento da causa. Estudos relatados por Wambold *et al.* (1986), a partir da análise de 500 acidentes, todos em pistas molhadas, indicaram quatro situações que se repetiram na maioria dos casos:

- Os pavimentos apresentavam pequena macrotextura (macrotextura fechada);
- As profundidades dos sulcos dos pneus eram pequenas;
- Os valores dos coeficientes de atrito eram baixos;
- As velocidades dos veículos imediatamente antes dos acidentes eram altas.

2. FATORES INTERVENIENTES NO FENÔMENO DE HIDROPLANAGEM

Para a análise de um acidente de trânsito com pista molhada, visando verificar se as condições técnicas do pavimento e do veículo possibilitam a ocorrência de hidroplanagem, devem ser verificadas nove características do evento, discutidas a seguir.

2.1 Atrito na Interface Pneu-Pavimento

A mobilidade e a dirigibilidade de um veículo automotor são diretamente condicionadas pela aderência das bandas de rodagem à superfície de rolamento do pavimento, sendo o coeficiente de atrito na interface pneu-pavimento composto por duas parcelas:

- Atrito por adesão, decorrente da atração molecular das superfícies de contato (forças de van der Waals);
- Atrito devido à perda por histerese, decorrente da deformação cíclica da superfície dos pneus, pela aspereza do pavimento.

O Coeficiente de Atrito Longitudinal (CAL) refere-se à força desenvolvida na área de contato pneu-pavimento quando se arrasta uma roda travada. O ensaio para determinação do CAL simula a resistência ao deslizamento em frenagens emergenciais ou quando um veículo é freado, acelerado ou desacelerado no sentido longitudinal. O Coeficiente de Atrito Transversal (CAT), por sua vez, refere-se à força desenvolvida na área de contato pneu-pavimento perpendicular ao plano de rotação da roda, formando um ângulo em relação à sua direção de rotação. O ensaio para determinação do CAT simula a resistência ao deslizamento transversal necessária para manter o veículo em curvas ou derrapagens.

2.2 Fenômeno da Hidroplanagem

A presença de lâmina d'água sobre a pista faz surgir pressões hidrodinâmicas na área de contato do pneu com o pavimento, que aumentam com a velocidade desenvolvida pelo veículo. Dependendo da textura do pavimento, os valores das pressões hidrodinâmicas podem ser de tal magnitude que tenderão a levantar os pneus sobre uma onda que se forma à sua frente. Assim, o fenômeno da hidroplanagem ocorre quando a resultante proveniente das pressões hidrodinâmicas é superior ao valor da carga aplicada aos pneus pelo peso do veículo. Nessas condições, o atrito é reduzido a valores insuficientes para manter a dirigibilidade do veículo e os pneus deslizam sem manter contato direto com o pavimento, perdendo o controle direcional e a capacidade de frenagem (APS, 2006). De acordo com Negrini Neto (2009), o fenômeno da hidroplanagem pode ser de três formas:

- Hidroplanagem dinâmica: ocorre quando a lâmina d'água tem altura superior a 0,25 cm. Por decorrer de precipitações de alta intensidade, é de curta duração;
- Hidroplanagem viscosa: ocorre quando a lâmina d'água tem centésimos de milímetro e a água atua como um lubrificante, tornando o revestimento escorregadio e gerando pressões hidrostáticas suficientes para erguer os pneus;
- Hidroplanagem de borracha revertida: fenômeno raro nos acidentes rodoviários, mas comum em acidentes aéreos. Em derrapagens longas, o calor gerado reverte a vulcanização, deixando um depósito negro na pista e tornando o pneu pegajoso.

Pesquisas realizadas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) demonstram que existem três zonas distintas de contato do pneu com o pavimento molhado, que dependem da velocidade desenvolvida, da textura do pavimento, da pressão interna dos pneus e da manobra que é realizada (Silva e Rodrigues Filho, 1981).

- Zona 1 (Z1): é a região da área de contato recoberta por uma espessa lâmina d'água, sujeita à hidroplanagem dinâmica, denominada “zona molhada”, em que o pneu em movimento empurra a água para frente, formando uma onda;
- Zona 2 (Z2): é a região da área de contato recoberta por uma lâmina d'água delgada, sujeita à hidroplanagem viscosa, denominada “zona de transição ou intermediária”, em que o pneu passa a ter contato parcial com o pavimento devido à pequena espessura da lâmina d'água;
- Zona 3 (Z3): é a região da área de contato teoricamente sem a presença de água, conhecida como “zona seca ou de contato”, em que ocorre o contato direto entre o pneu e o pavimento, contribuindo para a desaceleração e para o controle do veículo.

2.3 Textura do Pavimento

Existem três classes de textura de pavimento: microtextura, macrotextura e megatextura (Wambold *et al.*, 1995). Os limites entre os domínios de escalas de irregularidades das superfícies de pavimentos rodoviários foram estabelecidos por meio de critérios de

comprimento de ondas (horizontal) e amplitude (vertical), conforme visto na Tabela 1. As combinações entre micro e macrotextura resultam em quatro tipos distintos de texturas: rugosa e aberta; rugosa e fechada; polida e aberta; polida e fechada.

Tabela 1: Classificação de textura de pavimentos (ASTM E-867, 1997)

Domínio	Intervalo de Dimensões	
	Horizontal	Vertical
Microtextura	0 – 0,5 mm	0 – 0,2 mm
Macrotextura	0,5 mm – 50 mm	0,2 mm – 10 mm
Megatextura	50 mm – 500 mm	1 mm – 50 mm
Irregularidade	0,5 m – 50 m	1 mm – 20 cm

2.4 Macrotextura do Pavimento

A textura do pavimento deve apresentar um adequado potencial de drenagem superficial, eliminando a água pelos seus microcanais. A avaliação da macrotextura do pavimento pode ser realizada por vários métodos, sendo o mais utilizado, no Brasil, o da “Mancha de Areia” (ASTM E 965-96). Os valores recomendados pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes encontram-se no intervalo de 0,60 a 1,20 mm (DNER, 2000).

2.5 Microtextura do Pavimento

O pavimento deve conter agregados com rugosidade suficiente para romper a lâmina d'água. Existem diversos ensaios que permitem avaliar a microtextura, sendo o mais utilizado, no Brasil, o do “Pêndulo Britânico”, ensaio padronizado de acordo com a norma ASTM E 303-93. Além da avaliação da microtextura, trata-se de um ensaio que permite a avaliação das propriedades do atrito superficial do pavimento. Os valores recomendados pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, expressos em BPN (*British Pendulum Number*), encontram-se no intervalo de 47 a 75 (DNER, 2000).

2.6 Drenagem Superficial do Pavimento

O sistema de drenagem superficial do pavimento tem por objetivo remover rapidamente a água pluvial precipitada, a fim de resguardar a integridade do pavimento e a segurança na condução do veículo. A inexistência de sistemas adequados de drenagem superficial ao longo de uma rodovia acarreta o acúmulo de água sobre o pavimento, interferindo decisivamente na ocorrência da hidroplanagem, especialmente nos trechos em curva.

2.7 Banda de Rodagem

O desenho da banda de rodagem, suas condições de desgaste e a pressão de enchimento do pneu interferem na ocorrência da hidroplanagem, especialmente no que se refere ao escoamento da água pluvial e às velocidades mínimas e médias de ocorrência do fenômeno. O *Tire Wear Index* (TWI) serve de parâmetro para constatar se o pneu encontra-se em condições de utilização, devendo o sulco ter uma profundidade mínima de 1,6 mm.

2.8 Intensidade de Precipitação

A intensidade da chuva precipitada permite lâminas de água maiores ou menores sobre o pavimento, podendo, inclusive, ultrapassar as condições de drenagem superficial previamente projetadas para aquele trecho da via. Geralmente, avalia-se a intensidade de precipitação (mm/h) a partir da estação meteorológica mais próxima ao local do acidente.

2.9 Velocidade

A velocidade de tráfego do veículo é de fundamental importância para a constatação da ocorrência do fenômeno da hidroplanagem ou se a possibilidade maior é de ocorrência de uma simples perda direcional do veículo por parte do motorista, decorrente da imperícia no comando do automóvel. Cada acidente apresenta um método específico de cálculo da velocidade, envolvendo, normalmente, parcelas que compreendem a desaceleração do veículo, os danos no veículo e a posição final do veículo.

3. CONCLUSÃO

A análise de um acidente automobilístico, que tenha por suspeita a ocorrência de hidroplanagem como causa originária, deve avaliar as seguintes características da pista de rolamento e do veículo:

- Macro e microtextura do revestimento: a textura deve ser adequada à boa aderência dos pneus do veículo, especialmente em trechos curvos;
- Sistema de drenagem superficial do pavimento: deve ser impedido o acúmulo indevido de água sobre o leito asfáltico;
- Desenhos e profundidades dos sulcos das bandas de rodagem dos pneus: os desenhos devem favorecer o escoamento e o rompimento da lâmina d'água e os sulcos devem apresentar profundidade superior à mínima recomendada;
- Pressões de enchimento dos pneus: os pneus devem apresentar pressões de enchimento recomendadas pelo fabricante;
- Precipitação ocorrida no momento do acidente: a avaliação da intensidade da precipitação deve permitir a avaliação da altura da lâmina d'água sobre a pista;
- Velocidade desenvolvida pelo veículo: a velocidade imediatamente anterior ao acidente deve ser calculada para verificar se está dentro dos limites de velocidades mínimas e médias de ocorrência da hidroplanagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL ASTM E303-93 (1998): **Standard method for measuring frictional properties using the british pendulum tester**. ASTM Standards, v. 04.03, 5p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. ASTM E965-96 (2001): **Standard test method for measuring surface macro texture depth using a volumetric technique**. ASTM Standards, 5p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. ASTM E867-97 (1997): **Terminology relating to vehicle-pavement systems**. West Conshohocken: ASTM Standards, 1997, vol. 04.03, 8p.
- APS, M. (2006). **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (2000). **Licitação na modalidade leilão para concessão da exploração do lote 13, composto pelas rodovias BR-116/PR, BR-376/PR e BR-101/SC trecho Curitiba – Joinville – Florianópolis**. Edital 497/2000.
- NEGRINI NETO, O. (2009). **O problema da hidroplanagem nos acidentes de trânsito**. In: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Launchpad/2909/page16.html>. Acesso em 13.03.2009.
- SANY, R.Z.; NAVIN, F.P.D. (2004). **Improving traffic safety: a new systems approach**. In: Transportation Research Record 1830, TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 1-9.
- SILVA, A. M.; RODRIGUES FILHO, O. S. (1981). **Grooving: aspectos teóricos e executivos da aplicação em pavimentos aeroportuários**. São Paulo: COPASP, 1981.
- WAMBOLD, J. C.; HENRY, J. J.; HEGMON, R. R. (1986). **Skid resistance of wet-weather accident sites**. In: POTTINGER, M. G.; YAGER, T. J. The tire pavement interface. ASTM Standards, pp. 9-15.