

PAVIMENTOS ANTI-DERRAPANTES: USO DO “GROOVING” EM RODOVIAS

Alan de Oliveira Lopes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Universidade de Brasília
Polícia Federal

RESUMO

Este artigo tem como objetivo descrever a tecnologia de sulcagem de pavimentos (“grooving”), esclarecer os seus benefícios na segurança à derrapagem dos veículos e descrever como essa tecnologia, originalmente desenvolvida para uso no transporte aeroespacial e aéreo, foi utilizada em rodovias. Inicia-se com a introdução teórica de três elementos: características do pavimento, do fenômeno da hidroplanagem e da força de atrito. O “grooving” é cronologicamente descrito a partir da sua concepção teórica em meados da década de 60, chegando aos resultados da sua aplicação em trechos perigosos de rodovias. Espera-se que o artigo motive os responsáveis pela segurança viária e os projetistas a considerar as potencialidades do “grooving” em futuras ações voltadas à promoção da segurança viária.

ABSTRACT

This article aims to describe the technology of pavement grooving, clarify the benefits it brings when it comes to preventing vehicles from skidding, and describe how this technology originally developed for use in aerospace and air transporting has been applied to highways. It begins with a theoretical introduction on the characteristics of three elements: pavement, the phenomenon of aquaplaning and the frictional force. The "grooving" is chronologically described from its theoretical conception in the mid 60's up to the results of its use in dangerous stretches of highways. It is hoped that the article will motivate those responsible for road safety and designers to consider the potential of grooving in future actions aimed at promoting road safety.

1. INTRODUÇÃO

O tráfego se desenvolve sobre a superfície dos pavimentos. As características físicas dos pavimentos influenciam diretamente em diversos aspectos dos veículos, em especial, no seu desgaste e no seu controle direcional. Esse último aspecto é o foco do presente trabalho. A tendência atual de projetar rodovias no conceito da promoção da segurança para seus usuários – *forgiven roads*, aumentando as chances de minimização de danos ao veículo e aos seus passageiros, no caso de falhas de pilotagem ou eletro-mecânica, traz à tona a possibilidade de uso de novos elementos de segurança nos modernos projetos de engenharia.

Ao seguir as recomendações normatizadas para projeto e construção dos pavimentos, faz-se necessária uma interpretação técnica e uma possível adaptação ao tipo de facilidade projetada (rodovias, pistas de pouso e decolagem, etc), não bastando apenas uma interpretação literal das principais recomendações. De regra, os acidentes são multifatoriais, existindo fatores contribuintes ou intervenientes que podem ou não ser determinantes. Os fatores contribuintes determinantes são aqueles que quando afastados impediriam por completo o sinistro. Por outro lado, os fatores contribuintes não determinantes são aqueles que intensificam os efeitos do acidente, mas que isoladamente não poderiam ocasionar o sinistro. Do ponto de vista dos fatores que são relacionados às condições do pavimento, são fatores a serem analisados:

- a) técnica de pilotagem dos motoristas (procedimentos de ultrapassagem, frenagem e controle direcional);
- b) fatores atmosféricos e ambientais (intensidade de precipitação pluviométrica, períodos de estiagem, presença de contaminantes);
- c) superfície do revestimento (declividades transversais e longitudinais, atrito superficial, micro e macro-textura);
- d) desgaste dos pneus, velocidade de deslocamento, sistemas de freios e pressão de pneumática.

Tais fatores influem diretamente nas condições de segurança. Neste trabalho especial atenção é dada à formação de lâminas d'água, à capacidade de drenagem do sistema pneu-pavimento e ao coeficiente de atrito disponível para a frenagem dos veículos. Destaca-se o desempenho de trechos de rodovias executados com estriamento superficial (*grooving*) e seus efeitos sobre a resistência à derrapagem.

2. PAVIMENTOS

De forma geral, segundo Shahin (1997), os pavimentos são projetados e construídos visando três características principais:

- a) resistência mecânica: é a principal característica de projeto, pois estabelece, de regra, os materiais a serem aplicados e suas quantidades, influenciando fortemente nos custos de implantação e restauração de estruturas de pavimentos;
- b) ondulação: essa característica define a qualidade de acabamento do pavimento com relação ao rolamento. Quanto menor for a ondulação, menores serão os custos de manutenção e consumo dos veículos que trafegarem no pavimento;
- c) resistência à derrapagem: característica ligada ao atrito superficial e à drenagem superficial, auxiliando na frenagem e na manutenção da trajetória.

Das três características principais acima elencadas, a resistência à derrapagem é o principal aspecto analisado no presente artigo

2.1 Interação Pneu-Pavimento

Quando se trata de segurança na circulação de veículos em trechos rodoviários curvos perigosos, um dos principais aspectos a ser levado em consideração é a condição de atrito da pista, pois este é um fator a ser considerado na prevenção de acidentes.

A aderência pneu-pavimento é fortemente influenciada pela qualidade da área de contato pneu-pavimento, sendo que a presença de água é um fator importante a ser considerado na sua determinação. Segundo Yang (1972) o coeficiente de atrito é cerca de três vezes maior em superfícies secas quando sob velocidades maiores que 50 km/h, comparativamente à condição molhada, conforme gráfico da Figura 1.

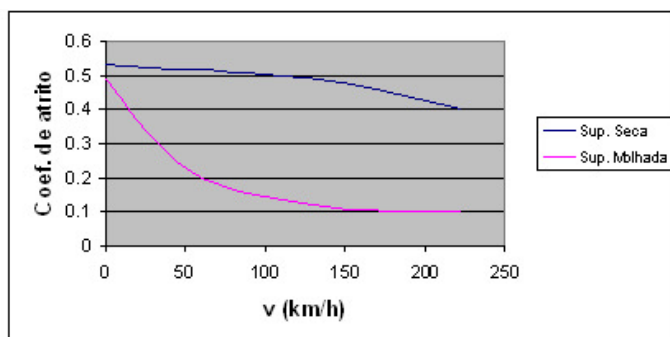


Figura 1: Coeficiente de atrito com pista seca e molhada, em relação à velocidade de deslocamento do veículo (Fonte: Yang 1972 apud Rodrigues, 2007)

O atrito entre pneu e pavimento é formado pela ação conjunta de dois mecanismos físicos distintos, a adesão e a histerese (Hall *et al*, 2006), como mostrado na Figura 2.

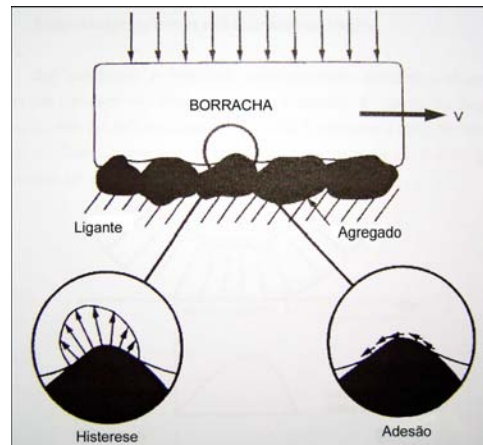


Figura 2: Mecanismos componentes da força de atrito (Fonte: Santos, 2004)

A adesão superficial surge da atração molecular das superfícies intermoleculares (forças de *Van der Waals*) entre a borracha e o agregado da superfície do pavimento. É a maior responsável pelo atrito em pistas secas, mas, por outro lado, sofre redução substancial quando o pavimento encontra-se molhado.

A histerese é um fenômeno que ocorre em materiais viscoelásticos quando submetidos a ciclos de carregamento e descarregamento, representando a energia absorvida pelo material. Conforme Hall *et al* (2006), quando um pneu comprime a superfície do pavimento, a distribuição de tensões ocasiona o armazenamento da energia de deformação gerada na borracha do pneu. Porém, quando o pneu relaxa, parte daquela energia armazenada é recuperada para o movimento e o restante é perdido na forma de calor (histerese). Tal perda de energia cria uma rede de forças de fricção que ajudam a frear o movimento (Hall *et al*, 2006). O atrito por histerese não é tão afetado pela presença da água na superfície, porém decresce com o aumento da temperatura (Bazlamit, 2007). Os pneus compostos por borrachas com alto valor de histerese costumam apresentar melhor tração em pavimentos molhados. Para pavimentos úmidos, a adesão diminui com o aumento da velocidade, enquanto a histerese aumenta (Hall *et al*, 2006). Como a borracha dos pneus é um material visco-elástico, ambos os mecanismos, adesão e histerese, são influenciados pela velocidade de escorregamento da interface pneu-pavimento e pela temperatura (Hall *et al*, 2006).

Na medida em que a velocidade aumenta, o coeficiente de atrito pneu-pavimento é reduzido, porém a taxas menores de variação (ICAO, 2003). Isto é, quando a velocidade aumenta a taxa na qual o atrito é reduzido se torna menor. Se a pista tiver uma boa macro-textura, que permita o escoamento da água debaixo do pneu, então o valor do atrito será menos afetado pela velocidade.

Portanto, o coeficiente de atrito do pavimento varia com a temperatura, velocidade de deslocamento, características e comportamento do pneu em relação ao pavimento, gerando atrito tanto por histerese quanto por adesão. O mecanismo de força de atrito por histerese é relacionado à macro-textura da superfície do pavimento enquanto que a força de atrito por adesão é ligada à micro-textura do pavimento (Hall *et al*, 2006).

Segundo Santos (2004), pode-se classificar os pavimentos em quatro tipos, de acordo com a rugosidade da sua macro e micro-textura, conforme mostrado na Figura 3.

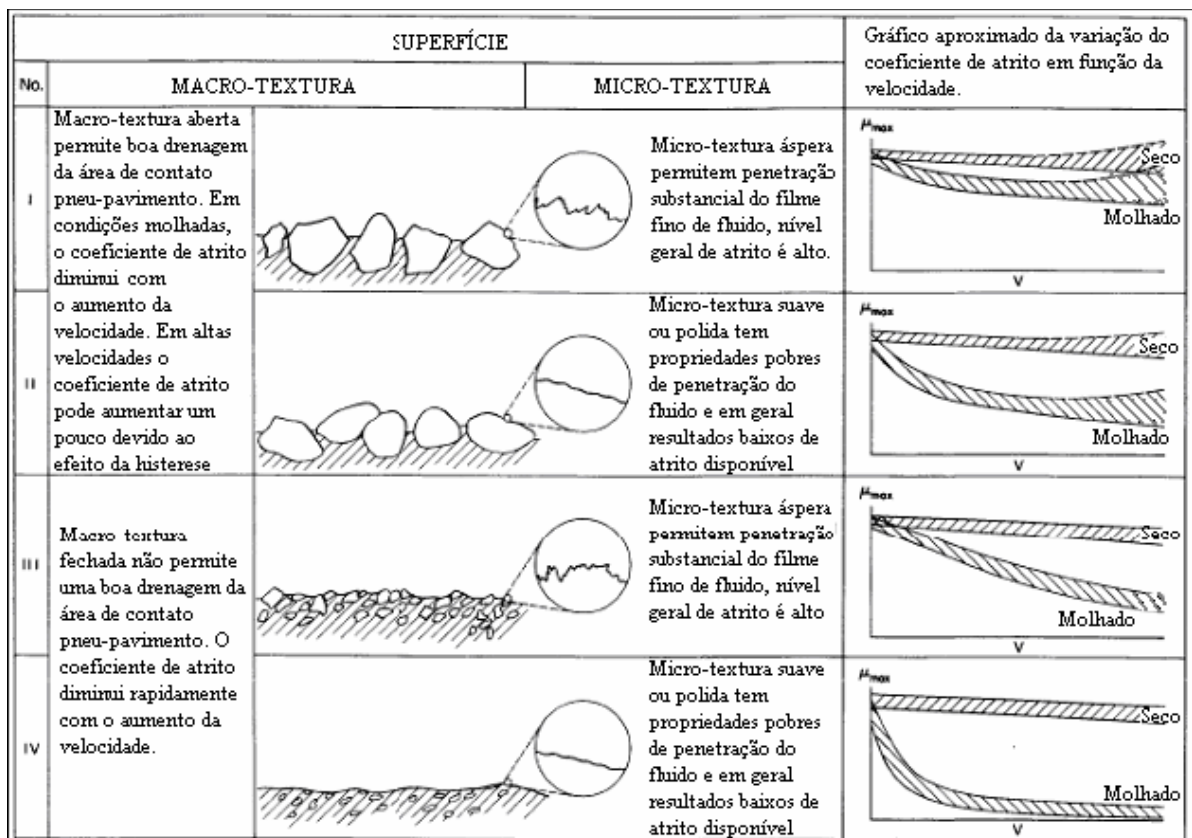


Figura 3: Efeito da textura do pavimento no coeficiente de atrito (Fonte: Santos - 2004)

Em resumo, os processos físicos que regem o atrito são complexos devido à multiplicidade de fatores intervenientes, tais como:

- intensidade de tráfego: o tráfego provoca o polimento dos agregados, ocasionando a diminuição da micro-textura;
- variações sazonais: a alternância de períodos chuvosos e de estiagem modificam os contaminantes presentes na pista (principalmente água e poeira);
- velocidade: o coeficiente de atrito decresce com o aumento da velocidade, principalmente em superfícies molhadas;
- pressão nos pneus: o aumento da pressão de inflação dos pneus causa redução no coeficiente de atrito. Importante salientar que as recomendações dos fabricantes quanto à calibragem dos pneus devem ser seguidas pelos operadores;
- sulcos nos pneus: em condições molhadas os sulcos nos pneus são importantes para garantir uma adequada drenagem com o intuito de minorar a redução do coeficiente de atrito;
- temperatura: o aumento da temperatura do pavimento diminui o atrito por influência da viscosidade do ligante.

2.2 Hidroplanagem

A hidroplanagem ou aquaplanagem inicia-se no ponto onde a elevação hidrodinâmica sob os pneus equivale ao peso do veículo conduzido sobre as rodas. A partir desse ponto, qualquer aumento da velocidade acima desse valor crítico elevará completamente o pneu do pavimento, iniciando assim a aquaplanagem. Segundo Silva (2007) existem três tipos básicos de hidroplanagem: dinâmica, viscosa (ou viscoplanagem) e de borracha revertida.

Na interação entre pneu e pavimento molhado, existem três zonas de interface: a zona molhada (Zona 1), a zona intermediária (Zona 2) e a zona seca (Zona 3). Estas zonas são mostradas na Figura 4.

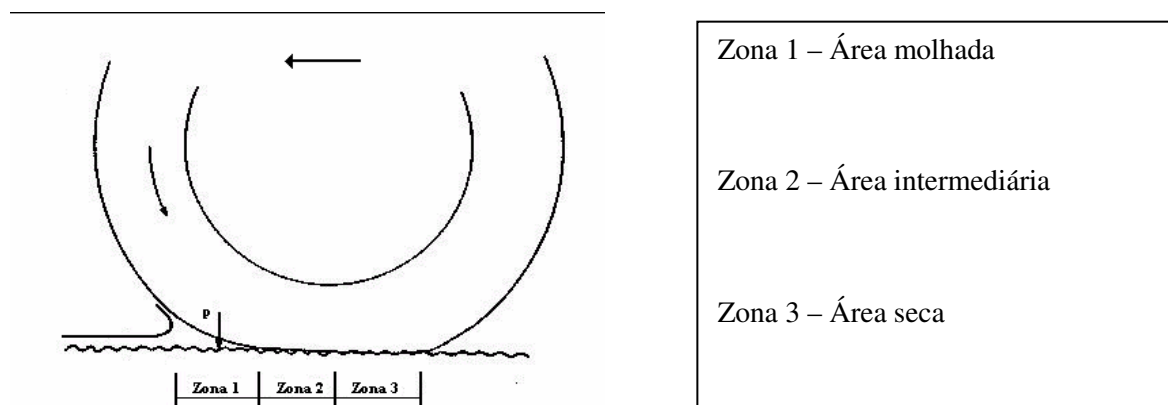


Figura 4: Zonas de contato entre Pneu – Pavimento (Fonte: Santos - 2004).

A zona molhada (Zona 1) localiza-se na frente da área de contato do pneu e o seu tamanho depende, principalmente, da velocidade do veículo, sendo a região com maior concentração de água e onde ocorre o início do processo de hidroplanagem. A zona intermediária (Zona 2), também conhecida como zona de transição, é a região onde a lâmina d'água deve ser rompida pelo pneu e onde o contato seco começa a ocorrer. A zona seca ou de contato (Zona 3) é a região onde ocorre o perfeito contato pneu-pavimento, pois a presença de água é teoricamente nula. Nessa zona, a maior parte da água foi expulsa do pavimento pelo carregamento oriundo do pneu, muito embora ainda permaneça um filme de água nas áreas não diretamente afetadas pelo contato. A Zona 3 abrange a maior parte da área de contato entre o pneu e o pavimento.

À medida que a velocidade do veículo aumenta, ocorre redução da área da zona de contato (Zona 3) e aumento das áreas das zonas intermediária (Zona 2) e molhada (Zona 1). Quando a área da zona de contato se torna nula, ocorre o fenômeno de hidroplanagem, momento da perda do controle direcional, que é a separação do pneu-pavimento devido à pressão de água existente sob o pneu.

2.2.1 Hidroplanagem Dinâmica

A hidroplanagem na Zona 1 é a chamada de hidroplanagem dinâmica, onde uma camada contínua e relativamente espessa de água permanece entre o pavimento e o pneu, o qual não consegue expulsá-la pelos seus sulcos, acarretando na completa perda de tração [como pode ser visto na letra *d* da Figura 5 (Santos, 2004)].

2.2.2 Hidroplanagem Viscosa

A viscoplanagem ocorre na zona intermediária (Zona 2), onde existe uma película de água entre o revestimento e o pneu, atuando como um obstáculo para o contato entre as arestas das asperezas do revestimento e o pneu (Santos, 2004). Com isso, pode ocorrer um descolamento entre a banda de rodagem do pneu e o revestimento no domínio da viscosidade da água, (mostrado na letra *c* da Figura 5). A viscoplanagem ocorre em pavimentos úmidos na presença de poeira, restos de borracha ou óleo, independentemente da velocidade de deslocamento (ao contrário da hidroplanagem dinâmica, a viscoplanagem também pode

ocorrer com velocidades mais baixas). A viscoplanagem também é associada a superfícies lisas com baixa aderência.

2.2.3 Hidroplanagem Borracha Revertida

A hidroplanagem de borracha revertida resulta do travamento dos pneus em uma pista molhada ou úmida, criando uma camada super aquecida de vapor devido ao calor gerado pela fricção (Frischmann, 2003). Nesta situação, a borracha funde-se sobre o vapor, deixando marcas de derrapagem acinzentadas ou brancas na pista. A ocorrência da hidroplanagem de borracha revertida é usualmente evitada pelo sistema de *Anti-Skid* (existente na maioria dos grandes jatos comerciais) que impede o travamento dos pneus. A hidroplanagem de borracha revertida pode ocorrer tanto em alta quanto em baixas velocidades (Frischmann, 2003).

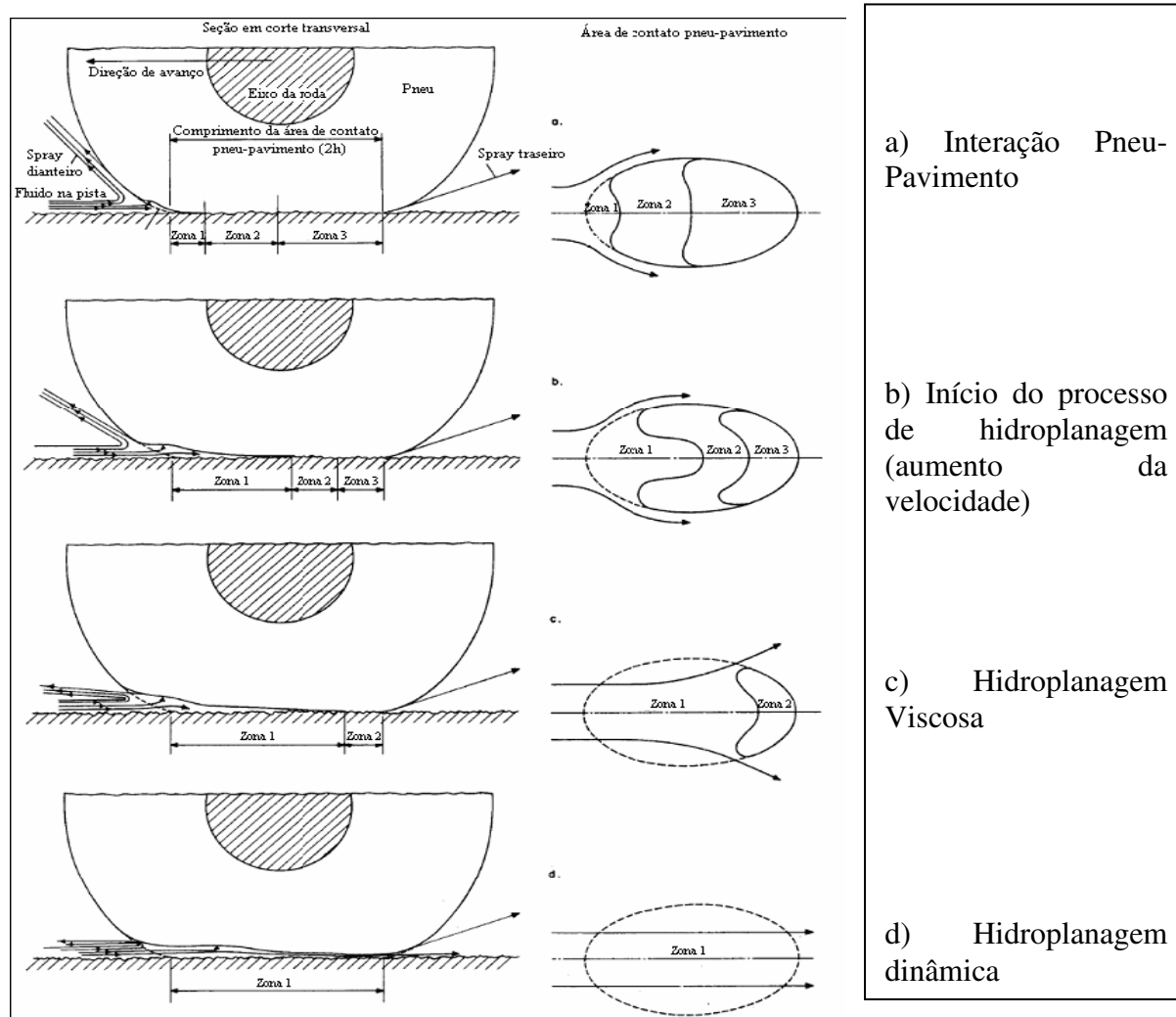


Figura 5: Efeito da velocidade nas zonas de contato (Fonte: Santos - 2004)

3. SULCOS NA PISTA (“GROOVING”)

As pesquisas iniciais para desenvolvimento da tecnologia de execução de sulcos (*grooving*) em pistas de pouso e decolagem, com o intuito de melhorar as condições de pouso sob condições de precipitação pluviométrica ou neve foi desenvolvida pela NASA, a partir da década de 60, no Centro de Pesquisas Langley (*Langley Research Center*), localizado nos Estados Unidos da América do Norte (NASA, 2007). Os resultados dessa pesquisa foram aplicados nas pistas de pouso dos ônibus espaciais norte-americanos.

3.1 Efeitos do “Grooving”

Segundo Shahin (1997), para velocidades altas o coeficiente de atrito de frenagem para aeronaves em pistas molhadas com *grooving* é de 2 a 3 vezes superior ao atrito com o mesmo pavimento sem *grooving*. Tal efeito se deve ao fato de que, sob a mesma precipitação pluviométrica, a formação de lâmina d'água é minimizada pelos sulcos comparativamente a uma pista não dotada de tais sulcos, o que diminui a possibilidade de uma hidroplanagem e diminui a distância de frenagem. Sem os sulcos no pavimento, a água necessita percorrer uma distância de escoamento maior comparativamente à situação com *grooving*, onde a distância a ser percorrida é consideravelmente menor.

O gráfico da Figura 6, extraído de Shahin (1997), apresenta a diferença observada no *Braking Friction Coefficient* (coeficiente de atrito de frenagem) em função da velocidade (1 KT, *knots*, equivale a 1,852 km/h) nas condições de existência ou não de *grooving* em pavimentos de concreto.

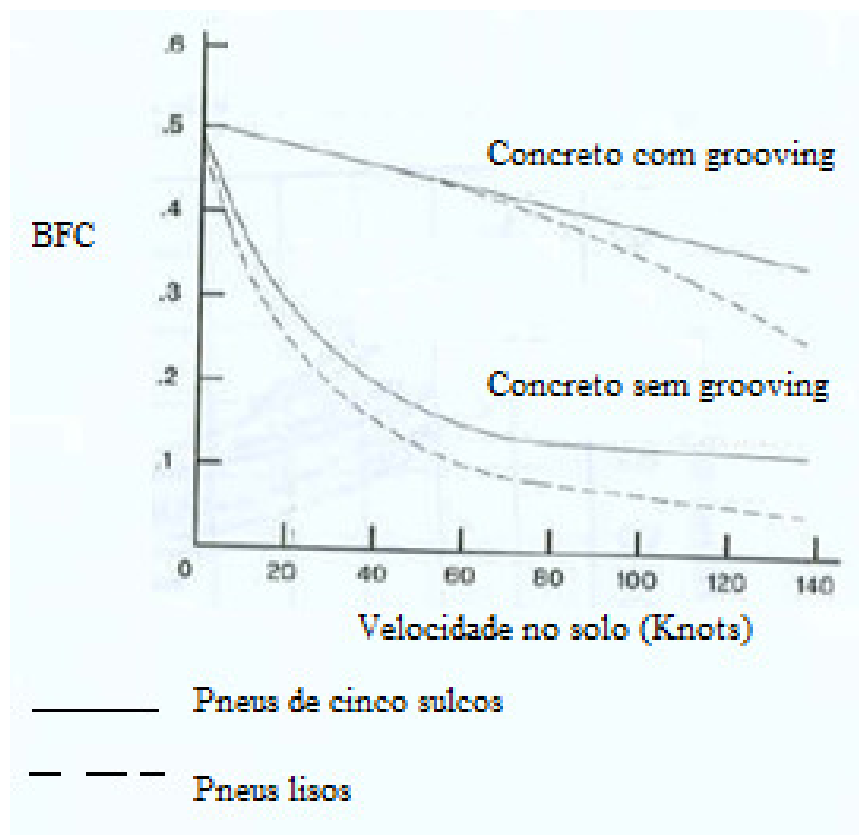


Figura 6: Desempenho do coeficiente de atrito de frenagem (BFC) em pistas de pouso de decolagem com *grooving* e sem *grooving* (Fonte: Shahin 1997)

Essa constatação levou à implantação de *grooving* nos Estados Unidos da América do Norte em diversos aeroportos e rodovias, como forma de evitar ou minimizar o efeito de acidentes com pistas molhadas (NASA, 2007), ver Figura 7.



Figura 7: Pavimento rígido com *grooving* em rodovia do estado norte-americano da Califórnia, 2011
(Fonte: Arquivo pessoal do Autor).

3.2 Recomendações de uso

Segundo a FAA (2005), para pavimentos aeroportuários, quando uma superfície resistente à derrapagem é requerida no projeto, o engenheiro deverá especificar sulcos (*grooves*) serrados, sulcos plásticos ou sulcos produzidos por fios para pavimentos de pistas que atendam a aeronaves turbojatos comerciais. Langevin (2003) cita que até 1991 as pistas de 646 aeroportos e as principais estradas dos Estados Unidos da América do Norte foram sulcadas transversalmente. O *grooving* deve ser construído de forma contínua em todo o comprimento da pista e transversalmente ao sentido de pouso e decolagem, conforme mostrado na Figura 8.

Na Figura 9 é mostrado um detalhe em corte do *grooving*, mostrando as dimensões internas e a distância entre dois sulcos sucessivos. A imagem de um equipamento executando o *grooving* é mostrada na Figura 10.

De forma simplificada, a implantação do *grooving* em revestimentos visa: (i) melhorar a qualidade da textura superficial para prevenir derrapagens; (ii) mitigar limitações de drenagem; (iii) mitigar os efeitos da contaminação da superfície; (iv) e reduzir o potencial de acidentes e incidentes relacionados à hidroplanagem.

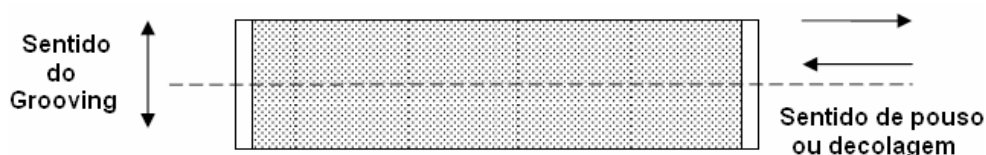


Figura 8: Disposição do *grooving* em relação ao sentido do tráfego (Fonte: Silva 2007).

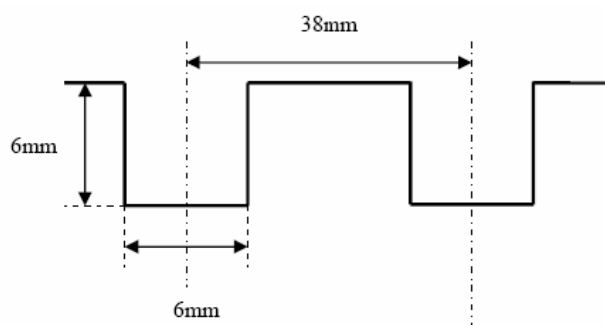


Figura 9: Detalhe em corte do grooving (Fonte: Silva 2007).



Figura 10: Equipamento executando grooving (Fonte: http://www.sgglp.com/css/runway_grooving.jpg, acessado em 20/11/2010).

A FAA (1997) estabelece alguns critérios que devem ser considerados para a decisão sobre a implantação de *grooving* nas pistas de pouso e decolagem, conforme trecho transcrito e traduzido a seguir:

2-16. DETERMINANDO A NECESSIDADE DE GROOVING.

O Grooving de todas as pistas que sirvam, ou que estejam na expectativa de servir, aeronaves turbojatos é considerado um trabalho de alta prioridade de segurança e precisa ser acompanhado durante a fase inicial da construção. As pistas existentes sem grooving precisam ser programadas tão cedo quanto praticável. Para outras pistas, os seguintes fatores precisam ser considerados:

- a. Registro histórico de acidentes e incidentes de aeronaves relacionados à hidroplanagem no aeroporto.*
- b. Frequência de umidade (registro de índices e intensidade de precipitação anual).*
- c. Níveis transversais e longitudinais, áreas planas, depressões, obstruções ou qualquer outra superfície anormal que possa impedir o escoamento da água.*
- d. Qualidade da textura superficial próxima do escorregadio sobre condições secas ou úmidas. Agregados polidos, assentamento impróprio do revestimento, micro e macro-textura inadequadas, e acúmulo de contaminantes são alguns exemplos de condições que podem causar perda de atrito superficial.*
- e. Limitações do terreno tais como taludes íngremes ao final da área de segurança da pista.*
- f. Adequação do número e comprimento das pistas disponíveis.*
- g. Efeitos de vento de través, particularmente quando fatores de baixo atrito prevalecerem no aeroporto.*
- h. A resistência e a condição do pavimento da pista.*

Os mesmos parâmetros usados para determinar a aplicação de *grooving* em pavimentos aeroportuários poderiam ser usados em pavimentos rodoviários, desde que relativizados e contextualizados à realidade dos sinistros rodoviários.

4. RECOMENDAÇÕES DO USO DO “GROOVING” EM RODOVIAS

4.1 Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT)

Na página 105 do Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, DNIT (2006), é afirmado que a principal propriedade do pavimento no que diz respeito à segurança, independentemente de fatores relacionados com as condições em planta, perfil e seção transversal da rodovia, é a sua capacidade de proporcionar a adequada aderência e atrito entre a sua superfície e os pneus dos veículos. Reforça-se que os segmentos com baixo valor de aderência e/ou altos índices de acidentes devem ser identificados. Tais identificações permitem ao órgão rodoviário realizar uma análise mais profunda, caso a caso, e com isso avaliar as necessidades e programar medidas corretivas.

Todavia, ao falar das técnicas corretivas para correção periódica relacionadas à perda de atrito, o manual faz referência apenas a duas técnicas (negrito nosso):

“(…)

d) melhoria das características de drenagem e de atrito do revestimento - alguns tipos de tratamento de superfície são concebidos especificamente para reduzir a hidroplanagem e o número de acidentes em pista molhada (camadas drenantes de atrito e capas selantes). Deve-se realizar a cuidadosa seleção dos tipos e granulometrias dos agregados, assim como a melhoria da declividade transversal do pavimento.”

Isto é, embora destaque a importância de alteração da superfície do pavimento para o aumento da aderência entre pneu-pavimento, o DNIT não reconhece o *grooving* como uma das alternativas possíveis para promovê-la.

4.2 National Aeronautics and Space Administration (NASA)

O uso mais intenso de sulcos em estradas ocorreu no estado norte-americano da Califórnia, onde a frequência dos acidentes em pavimentos molhados foi reduzida em 98% nos trechos onde o *grooving* foi implantado (NASA, 2007). Essa informação apresentada pela NASA revela o uso concreto da tecnologia em pavimentos rodoviários e apresenta índices expressivos na redução de acidentes. Porém, o elevado índice de sucesso pode ser fruto de curto período de observação. Assim, outras referências mais atuais foram identificadas de forma a melhor entender os benefícios do *grooving* em rodovias.

4.3 Transportation Research Board

O *National Cooperative Highway Research Program* (TRB, 2003) apresenta orientações para o planejamento estratégico de segurança rodoviária com a abordagem das colisões com saída de pista. No capítulo sobre pavimentos resistentes a derrapagens é informado que existem várias medidas que podem aumentar a resistência à derrapagem de pavimentos como a alteração do traço da massa asfáltica, microtexturização e o *grooving*.

É narrado que no estado de Nova York foi realizado um programa para identificar sítios com baixa resistência à derrapagem e prover o seu tratamento com microtexturização. O critério para escolha do sítio foi o de que, num período de dois anos, os acidentes em pista molhada fossem 50% superiores a média das rodovias do mesmo condado. Assim, entre os anos de 1995 e 1997, 36 sítios foram identificados e tratados, resultando em mais de 800 acidentes em rodovias molhadas anuais. Esse e outros estudos mais recentes levaram à conclusão que ocorreu uma redução de 50% dos acidentes em pista molhada e 20% do total de acidentes nas localidades tratadas.

4.4 The Handbook of Road Safety Measures

No livro de Elvik *et al* (2009), foi feita uma coletânea de resultados de recentes estudos de elementos de segurança. Os resultados desses estudos (ver Tabela 1) indicam que o *grooving* tem efeitos mais favoráveis em rodovias molhadas do que secas e mais efeitos favoráveis em acidentes com somente danos em propriedades do que acidentes com lesões corporais. Os autores destacam a existência de diferenças metodológicas nos estudos realizados. A maioria consiste em simples estudos de acidentes antes e depois do tratamento, os quais não levaram em conta o efeito de regressão à média.

Tabela 1 - Efeitos nos acidentes pela sulcagem de pavimentos (*grooving*)

Porcentagem de mudança no número de acidentes			
Severidade do Acidente	Tipos de acidente	Melhor estimativa	Intervalo com 95% de confiança
Acidentes com vítimas	Todos os acidentes	+8	(-25%; +57)
	Acidentes em pista molhada	-39	(-73; +36)
	Acidentes em pista seca	+39	(-27; +163)
Acidentes somente com danos materiais	Todos os acidentes	-13	(-20; -6)
	Acidentes em pista molhada	-67	(-74;-58)
	Acidentes em pista seca	-1	(-9; +8)
Não especificados	Acidentes em pista molhada	-29	(-55; +14)

(Fonte: Elvik *et al*, 2009)

Na análise dos autores os efeitos são na maioria superestimados. Muitos estudos foram considerados de fraca qualidade metodológica. Isso pode ser observado nos estudos onde o intervalo de confiança engloba o percentual zero (0)%. Ainda segundo Elvik *et al* (2009) o único estudo com análise de resultados que levou em consideração o fenômeno da regressão à média é o estudo de Hanley, Gibby e Ferrara (2000). O resultado apresentado na Tabela 1, que não especifica a severidade dos acidentes, é baseado nesse estudo (-55; +14, 95% de intervalo de confiança). Além desse, outros dois estudos compararam os *groovings* longitudinais e transversais. Eles destacaram que na comparação foram encontradas diferenças na taxa de acidentes com a aplicação dos dois tipos diferentes de *grooving*. Apesar dos problemas metodológicos narrados é perceptível uma melhoria nas condições em pista molhada quando comparadas com pista seca.

5. CONCLUSÃO

A revisão dos conceitos e estudos referentes ao *grooving* mostra que o uso de estriamento de pavimentos com sulcos transversais é um elemento que pode ajudar a reduzir o número de sinistros rodoviários, especialmente, em trechos perigosos em curva, onde o risco de perda do controle da direção é maior.

O DNIT, embora reconheça a importância de aumentar a aderência entre o pneu e o pavimento em algumas situações de risco de acidentes, não refere à técnica do *grooving* como uma das possíveis soluções para o aumento do atrito pneu-pavimento.

A verificação em estudos internacionais sobre os efeitos positivos do *grooving* em rodovias, aliado à sua reconhecida eficiência em pistas de pouso e decolagem (inclusive no Brasil) sugere, portanto, que futuras investigações sobre a relação benefício-custo de sua utilização em rodovias nacionais sejam conduzidas.

A implantação do *grooving* dependerá de um levantamento de trechos perigosos e planejamento para a sua implementação, de forma a aproveitar os efeitos econômicos de contratações em escala desse tipo de serviço, que pode ensejar a necessidade de licitação internacional. Os seus benefícios poderiam ser potencializados pela adoção de maiores

cuidados no controle da circulação do tráfego em pista molhada, tais como a redução da velocidade limite permitida.

Além disso, a exemplo do que acontece para a implantação do *grooving* em pistas de pouso e decolagem, é importante que sejam claramente definidos os critérios técnicos que deverão ser adotados pelos órgãos rodoviários na tomada de decisão para implantar a medida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazlamit, Subhi M. (2007) *Changes in Asphalt Pavement Friction Components and Adjustment of Skid Number for Temperature*; Vol. 131 nº 6, *Journal of Transportation Engineering - Indian Railways Institute of Civil Engineering*; acessado em 06/09/2007 no endereço eletrônico <http://www.ircen.gov.in/modules.php?name=Journals-all&file=viewtopic&journal_name_id=8&journal_id=4015255&topic_id=3895452>.
- DNIT (2006) Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 314p.
- Elvik, Rune; Høy, Alena; Vaa, Truls e Soresen, Michael (2009) *The Handbook of Road Safety Measures*, 2ª Edição; Editora Emerald Group Publishing Limited.
- FAA (Federal Aviation Administration) (1997) *Advisory Circular (AC) nº 150/5320-12C; Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces*; acessado em 21/09/2007 em <<http://www.faa.gov>> .
- FAA (Federal Aviation Administration) (2005) *Advisory Circular (AC) nº 150/5370-10B; Standards For Specifying Construction of Airports*; acessado em 21/09/2007 em <<http://www.faa.gov>>.
- Frischmann, Alex (2003) Hidroplanagem; acessado em 06/09/2007 em <<http://www.airsafetygroup.com.br>>.
- Hall, Jim W. H. Jr; Titus-Glover, Leslie; Smith, Kelly; Evans, Lynn; Wambold, James; Yager, Thomas; Rado, Zoltan (2006) *Guide for Pavement Friction, Transportation Sector of Applied Research Associates*; acessado em 06/09/2007 no endereço eletrônico <<http://www.transportation.org/sites/design/docs/Friction%20Guide%20with%20AASHTO%20changes%20-%208-14-2007%20line%20nos.pdf>>.
- ICAO (International Civil Aviation Organization) (2003) Volume I (Projeto e Operação de Aeródromos) do Anexo 14 à Convenção de Aviação Civil Internacional, 3ª Edição, traduzido e editado no Brasil em 2004 pelo antigo Instituto de Aviação Civil (IAC) do Comando da Aeronáutica.
- Langevin, Gail S. (2003) (última atualização) *Runway Friction and Tire Technology*; acessado em 22/10/2007 no endereço eletrônico <http://oea.larc.nasa.gov/PAIS/Concept2Reality/runway_friction.htm>.
- Martin, F. R.; Hill, T. B.; Mac Rae, A. R. (1970) *Aircraft Pavement Design*; Institution of Civil Engineers em Londres.
- NASA (2007), <<http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Groove.html>>, acessado em 24/10/2007.
- Rodrigues, Régis Martins (2007) Material do Curso de Engenharia de Pavimentação, realizado de 12 a 24/08/2007; Departamento de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em São José dos Campos/SP.
- Santos, Edimar de Lima dos (2004) Análise histórica de medição de atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont-RJ; Instituto Tecnológico de Aeronáutica; acessado em 22/10/2007 no endereço eletrônico <http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2004/TGIEI010_2004_a_Edimar.pdf>.
- Shahin, Mohamed Y. (1997) *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*, 2ª Edição; Editora Spring Engineering.
- Silva, João Paulo Souza (2007) Aderência Pneu-pavimento e as Condições de Segurança de Pistas Aeroportuárias; Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília – UNB.
- Transportation Research Board - TRB (2003) *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan*, Volume 6: *A Guide for Addressing Run-Off-Road Collisions*, ISSN 0077-5614, ISBN 0-309-08760-0.
- Yang, N. C. (1972) *Design of Functional Pavements*; Editora McGraw-Hill.

Alan de Oliveira Lopes (bsb_brasil@msn.com / alan.aol@dpf.gov.br)

Serviço de Perícias de Engenharia, Instituto Nacional de Criminalística, Polícia Federal

Programa de Pós Graduação em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília